

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ПОЕЗДА ПРИ ЕГО СЛЕДОВАНИИ ПО ПЕРЕЛОМНОМУ ПРОФИЛЮ ПУТИ

К. В. МЕНАКЕР

Российский государственный технический университет путей сообщения

Уточнение существующих имитационных моделей движения может быть осуществлено путем более полного учета сил, действующих на поезд, в частности сил, возникающих вследствие перемещений отдельных частей поезда по различным элементам профиля и плана пути. В стандартных тормозных расчетах принимают, что масса поезда сосредоточена в одной точке. При этом становится очевидным, что учесть точно влияние профиля и плана пути на оказываемое ими сопротивление движению поезда практически не представляется возможным, за исключением тех ситуаций, когда состав движется по продолжительному равномерному уклону (спуску) или при движении по кривой. Если учесть, что подобные участки пути встречаются не так часто, при расчете величины тормозного пути, а также при тяговых расчетах желательно рассматривать состав в виде цепочки соединенных вагонов. Очевидно, что при таком подходе возникает ряд сложностей. Основная сложность заключается в существенном увеличении математических вычислений, связанных с большим количеством вагонов в составе, а также с тем, что при движении поезда необходимо постоянно вести пересчет значений действующих на него сил.

В данной работе приведена математическая модель, позволяющая решить поставленную задачу с использованием минимального количества вычислительных операций. Суть модели заключается в следующем. Профиль пути представляется в виде аналитической зависимости. Как известно, наиболее удобным средством аппроксимации функций на больших промежутках (при большом количестве узлов N) являются сплайны. Для аналитического описания пути в наибольшей степени подходит комбинация сплайнов первой и третьей степени. Сплайнами первой степени удобно описать продолжительные прямолинейные участки пути. Сплайны третьей степени идеально подходят для описания участков сопряжения соседних уклонов. Таким образом, для описания пути наилучшим образом подходят так называемые эрмитовы (локальные) сплайны. Каждый из звеньев эрмитова сплайна строится независимо от остальных. Это свойство позволяет составлять эрмитов сплайн из звеньев разных степеней. При этом в точках стыковки таких участков допустимо использование односторонних производных.

Учет распределения массы поезда вдоль его длины можно осуществить следующим образом. Для этого введем понятие удельной массы экипажа $m_{уд}$, под которым понимается масса экипажа, отнесенная к его длине. Зная массы отдельных экипажей, а также их местоположение в составе, можно найти зависимость распределения удельных масс вагонов вдоль длины поезда.

Аналитически представить зависимость $m_{уд} = f(l_{п})$ можно несколькими способами. В случае ярко выраженной неоднородности состава можно использовать интерполяционные многочлены, в частности интерполяционный многочлен Ньютона для неравностоящих узлов. Если в неоднородном составе можно выделить несколько однородных групп вагонов, то целесообразнее применить эрмитовы сплайны первой и третьей степени. Для однородного поезда зависимость $m_{уд} = f(l_{п})$ будет линейной. Линейную зависимость можно также использовать для упрощенных вычислений величины дополнительного сопротивления движению поезда от уклонов и кривых.

Для определения величины дополнительного сопротивления движению поезда необходимо знать величину уклона в каждой точке пути. Поскольку профиль пути задан в виде аналитической функции $S(x)$, а поезд является частью этой функции, определенной на некотором отрезке, то для определения угла наклона кривой в каждой точке пути достаточно найти первую производную от заданной функции. Профиль пути, как было сказано выше, представляется в виде эрмитова сплайна. С учетом того, что поезд в данный момент времени может находиться на двух (и более) участках пути, описанных функциями $S_1(x)$ и $S_2(x)$ величина дополнительного сопротивления от геометрии пути

$$W_i = \int_{x_{\text{хв}}}^{x_1} m_{\text{уд}}(l_{\text{п}}) s'_1(x) dx + \int_{x_1}^{x_{\text{л}}} m_{\text{уд}}(l_{\text{п}}) s'_2(x) dx, \quad (1)$$

где $x_{\text{л}}$, $x_{\text{хв}}$ – абсолютные координаты локомотива и хвоста поезда; x_1 – абсолютная координата узла сопряжения двух элементов пути.

Для определения общего сопротивления движению поезда необходимо также учесть сопротивление от кривых, вернее, оптимизировать алгоритм определения этой величины.

Дополнительное сопротивление от кривой для любой части поезда или экипажа определяют по следующей эмпирической формуле:

$$W_r = \frac{700 l_{\text{п.кр}}}{R l_{\text{п}}} Q_{\text{п.кр}}, \quad (2)$$

где R – радиус кривой; $l_{\text{п}}$ – длина поезда; $l_{\text{п.кр}}$ – длина части поезда, находящейся в кривой; $Q_{\text{п.кр}}$ – вес части поезда, находящейся в кривой.

Поскольку из всех величин, входящих в выражение (2), переменной является только длина части поезда, находящаяся в кривой $l_{\text{п.кр}}$ ($Q_{\text{п.кр}}$ есть функция от $l_{\text{п.кр}}$), то выражение (2) можно представить в следующем виде:

$$W_r = a_r l_{\text{п.кр}} Q_{\text{п.кр}}(l_{\text{п.кр}}). \quad (3)$$

Выражение (3) представляет собой уравнение прямой

$$a_r = \frac{700}{R l_{\text{п}}} = \text{tg} \alpha_{\text{пр}}, \quad (4)$$

где $\alpha_{\text{пр}}$ – угол наклона этой прямой относительно оси абсцисс.

Из выражения (3) следует, что кривую поворота всегда можно представить в виде приведенного уклона. Для этого достаточно задать его параметры. Длину приведенного уклона можно определить через длину дуги кривой, значение которой можно определить с учетом известного центрального угла $\alpha_{\text{ц}}$. Угол наклона приведенного уклона определяется согласно выражению (4).

Величина дополнительного сопротивления от кривой в данном случае:

$$W_{\text{пр}} = l_{\text{п.кр}} \int_{x_1}^{x_2} m_{\text{уд}}(l_{\text{п}}) S'(x) dx, \quad (5)$$

где x_1 , x_2 – абсолютные координаты части поезда, находящейся в кривой; $S'(x)$ – приведенный уклон, представленный в виде аналитической функции (сплайна первой степени); $l_{\text{п.кр}}$ – длина части поезда, находящаяся в кривой.

Дальнейший алгоритм определения величины дополнительного сопротивления от кривой ничем не отличается от алгоритма, представленного для определения значения сопротивления от уклонов.

В итоге можно отметить, что представленные алгоритмы позволяют с минимальными машинными и программными затратами определить величину дополнительного сопротивления движению поезда при расположении его частей на любом количестве уклонов и в кривой. Кроме того, алгоритм определения величины дополнительного сопротивления от кривых с использованием приведенного уклона позволяет перейти к единой методике задания профиля пути и значительно оптимизировать процесс вычислений.

УДК 656.22.05

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА СЛЕДОВАНИЯ ПОПУТНЫХ ПОЕЗДОВ В СИСТЕМЕ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО КАНАЛА СВЯЗИ

К. В. МЕНАКЕР

Российский государственный открытый технический университет путей сообщения

Достигнутый уровень развития средств связи, вычислительной техники, электроники и накопленный опыт в построении систем интервального регулирования показывают, что сейчас имеются все предпосылки для создания современных автоматических устройств, построенных на совершен-