

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОФИЛЯ ПУТИ НА ПРОДОЛЬНЫЕ СИЛЫ В ПОЕЗДАХ***П. А. САХАРОВ**Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Безопасность движения поездов зависит от многих факторов. К основным причинам нарушения безопасности движения поездов можно отнести значительные продольно-динамические силы, возникающие в межвагонных соединениях в процессе движения. Они способны привести к выжиманию вагонов из рельсовой колеи при торможении, выдергиванию их при действии силы тяги, расшивке или сдвигу железнодорожного пути. Движение через перелом продольного профиля пути, то есть по элементам с разной крутизной уклона, приводит к сжатию или растяжению поезда. Сжимающие силы возникают при положительном переломе профиля пути (при движении с элемента меньшей крутизной уклона на элемент с большей крутизной, например, с площадки на подъем или со спуска на площадку), а растягивающие – при отрицательном значении разности уклонов. Указанные сжимающие (растягивающие) силы добавляются к силам управляющего воздействия (торможения или тяги), и их суммарная величина может достигать небезопасных для движения значений. Требуется оценка влияния профиля пути на величину и распределение продольных сил в поездах. Особенно актуален данный вопрос для обеспечения безопасности грузовых поездов большой массы и длины.

Разработана компьютерная модель [1], позволяющая определить значения продольных сил в межвагонных соединениях поездов при различных характеристиках железнодорожного подвижного состава и продольного профиля пути. С ее помощью выполнен ряд исследований, показавших следующее:

- значения продольных сил, возникающих в межвагонных соединениях поезда при движении в режиме выбега с площадки на спуск крутизной  $i$  и с площадки на подъем той же крутизны по модулю практически не отличаются;

- значения сил определяются разностью уклонов смежных элементов и не зависят от уклона элемента, с которого начинается движение поезда [1, 2].

Данные выводы позволяют существенно упростить дальнейшую оценку влияния профиля пути на продольную динамику поездов, так как показывают достаточность исследования только одного из вариантов движения: с площадки на подъем или с площадки на спуск различной крутизны. Получаемые закономерности будут справедливы для любых сочетаний уклонов смежных элементов [1].

Рассмотрено движение однородного по массе поезда через положительный перелом профиля пути (с площадки на подъем) в режиме выбега при различных значениях разности уклонов. Состав поезда сформирован из 100 вагонов массой по 100 т и длиной по осям автосцепок 10 м (такая длина принята для удобства анализа результатов расчета). Средняя скорость движения через перелом профиля – 72 км/ч, а радиус сопрягающей кривой – 15 км. Все вагоны в поезде оборудованы поглощающими аппаратами с одинаковыми характеристиками, а зазоры в автосцепных устройствах отсутствуют (в грузовом движении это соответствует случаю предварительно сжатого поезда). Для рассмотренных переломов профиля выполнено по четыре варианта расчета, в каждом из которых поезд отличается только коэффициентом жесткости  $C$  поглощающих аппаратов. Графики изменения максимальных продольных сил, возникающих в поездах в процессе движения через переломы профиля пути, представлены на рисунке 1.

Видно, что уровень максимальных сил в межвагонных соединениях поездов пропорционален величине перелома продольного профиля пути. Наибольшие значения продольных сил наблюдаются при  $C = 10$  МН/м. Они достигают 140, 270 и 400 кН при движении через переломы профиля 4, 8 и 13 ‰ соответственно. При коэффициентах жесткости поглощающих аппаратов 20–80 МН/м максимальные силы меньше на 20 % и на одинаковых переломах профиля почти одинаковы у всех поездов, хотя возникают в разные моменты времени от начала движения через перелом. У поездов с  $C = 10$  МН/м наблюдается один максимум продольных сил, при коэффициентах жесткости 20 и 40 МН/м – два, при 80 МН/м – до трех. Это связано с соотношением периодов собственных продольных колебаний поездов и временем влияния внешней силы, действие которой начинается в момент начала движения локомотива по сопрягающей смежные элементы профиля кривой, а заканчивается при выходе последнего вагона из нее. В рассмотренном случае время действия внешней силы составляет около 52–62 с. За это время поезд, движущийся со средней скоростью около 20 м/с

проходит путь, равный сумме длин поезда и сопрягающих переломы профиля кривых, составляющих 1036 и 60–195 м соответственно.

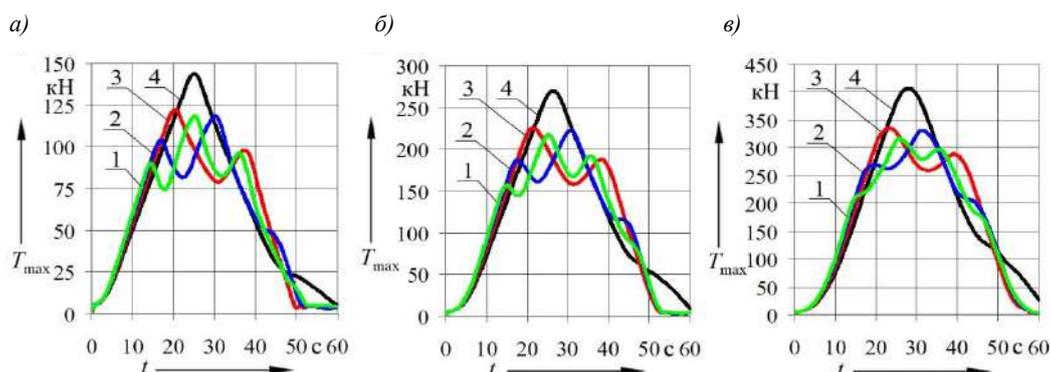


Рисунок 1 – Графики изменения максимальных продольных сил в поезде, движущемся в режиме выбега через перелом профиля 4 ‰ (а), 8 ‰ (б) и 13 ‰ (в) при коэффициенте жесткости поглощающих аппаратов: 1 – 80 МН/м; 2 – 40 МН/м; 3 – 20 МН/м; 4 – 10 МН/м

Половину указанного времени (26–31 с) действие внешних сил на поезд плавно увеличивается, а вторую половину – снижает. То есть время роста силы, а затем и время ее снижения для поезда с  $C = 10$  МН/м близки к периоду его собственных продольных колебаний (около 29 с). Это и приводит к наличию только одного максимума продольных сил. В случае, когда время нарастания внешней силы больше периода собственных продольных колебаний поезда (при  $C = 20 \dots 80$  МН/м), наблюдается более одного максимума сил. Это также влияет на распределение максимальных сил по длине поезда, что видно на рисунке 2 (где  $n_i$  – порядковый номер междвагонного соединения).

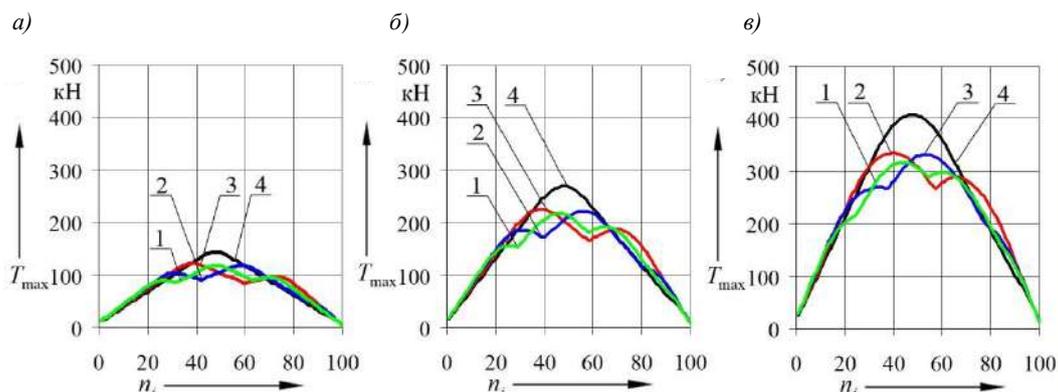


Рисунок 2 – Графики распределения максимальных продольных сил в поезде, движущемся в режиме выбега через перелом профиля 4 ‰ (а), 8 ‰ (б) и 13 ‰ (в) при коэффициенте жесткости поглощающих аппаратов: 1 – 80 МН/м; 2 – 40 МН/м; 3 – 20 МН/м; 4 – 10 МН/м

Таким образом, при движении однородного по массе поезда через перелом профиля пути в режиме выбега максимальные продольные силы возникают в центральной части поезда. Они формируются под действием двух факторов: внешнего возмущающего воздействия и внутренних сил, возникающих в процессе свободных колебаний. Внешние силы зависят от величины перелома профиля пути, массы поезда, скорости движения, а также от радиуса сопрягающей смежные элементы профиля кривой. Формирование внутренних сил определяется числом и массой вагонов, характеристиками междвагонных связей. Учет влияния продольного профиля пути на продольную динамику особенно важен для поездов большой массы и длины. При движении через перелом профиля максимальные продольные силы почти линейно увеличиваются с ростом массы состава и могут достигать 300–400 кН в поездах массой до 10000 т на переломах до 13 ‰. Действие таких сил небезопасно при наличии порожних вагонов в составе и движении по кривым участкам [1].

#### Список литературы

- 1 Сахаров, П. А. Повышение безопасности движения поезда при использовании электродинамического торможения : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / П. А. Сахаров ; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2022. – 23 с.
- 2 Shimanovsky, A. Investigation of the longitudinal track profile influence on the forces acting in the train inter-car connections using the MSC.ADAMS soft-ware / A. Shimanovsky, P. Sakharau // CEUR Workshop Proceedings. – 2019. – Vol. 2353. – P. 555–569.