

## СНИЖЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ В ПОЕЗДАХ С ЗАЗОРАМИ В СВЯЗЯХ ПУТЕМ ПЛАВНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИЛЫ ЛОКОМОТИВА

П. А. САХАРОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время актуальным вопросом является снижение продольно-динамических сил в межвагонных соединениях грузовых поездов, в том числе при торможении средствами локомотива. Достигая больших значений, продольные силы нарушают устойчивость движения и могут привести к сходу подвижного состава с рельсов. Наиболее подвержены этому поезда большой массы и длины, а также неоднородные по массе с порожними вагонами в голове или центре поезда.

Наиболее эффективным способом снижения сил в межвагонных соединениях является плавное увеличение тормозной силы локомотива. Выполненные исследования показали, что для поездов без зазоров наименьшие значения продольных сил при торможении локомотивом возникают в тех случаях, когда время нарастания тормозной силы до максимального значения кратно периоду собственных продольных колебаний поезда  $T_{ск}$  [1]. При этом значение  $T_{ск}$  в основном зависит от жесткости амортизаторов, массы и количества вагонов. Влияют на характер продольных колебаний также неоднородность состава по массе (порожние вагоны и их расположение в поезде) и зазоры в межвагонных соединениях. При быстром увеличении тормозной силы локомотива до требуемого значения в течение одной секунды возможные в эксплуатации зазоры в межвагонных соединениях до 100 мм могут привести к росту упругих сил длительностью более 2 с на 15–25 % от тормозной силы, а сил ударного характера (кратковременного действия) – на величину до 120 % [2]. При этом прослеживается близкая к линейной зависимость максимальной силы от величины зазора в автосцепках.

Путем компьютерного моделирования выполнена оценка влияния длительности нарастания тормозной силы локомотива на значения максимальных продольных сил в поездах с зазорами в связях. Математическое описание модели движения поезда представлено в работе [2]. В расчетах рассмотрены три типа поглощающих аппаратов с одинаковой энергоемкостью 100 кДж и конструкционным ходом 120 мм. Жесткая, линейная и мягкая силовые характеристики указанных аппаратов отличаются линиями нагрузки, математическое описание которых представлено в работе [3].

Для однородных поездов с составом из 100 вагонов массой по 100 т рассмотрены варианты торможения при условии нарастания тормозной силы локомотива до максимального значения 500 кН в течение 5, 10 и 15 с, а также за время, равное периоду их собственных продольных колебаний. При этом  $T_{ск}$  для поездов с мягкими характеристиками составляет 19 с, а с линейными и жесткими – 26 и 32 с соответственно. Поезда с зазорами в связях 50 мм осуществляют торможение на прямом горизонтальном участке пути при начальной скорости 80 км/ч. Результаты расчетов представлены на рисунке 1.

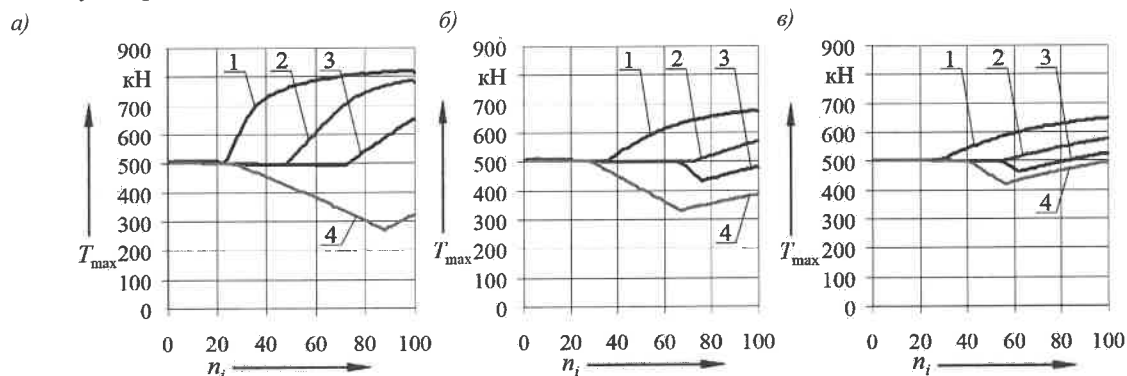


Рисунок 1 – Распределение максимальных продольных сил в однородном поезде с зазорами 50 мм при жестких (а), линейных (б) и мягких (в) характеристиках амортизаторов и времени нарастания тормозной силы до максимального значения 500 кН: 1 – 5 с; 2 – 10 с; 3 – 15 с; 4 –  $T_{ск}$

При одинаковом времени роста тормозной силы наибольшие продольные силы ударного характера возникли в межвагонных соединениях поездов с жесткими характеристиками поглощающих аппаратов, а наименьшие – при линейных и мягких. Соответственно они составили: 820, 680 и 650 кН при времени нарастания тормозной силы 5 с; 790, 570 и 580 кН – при 10 с; 650, 490 и 520 кН – при 15 с. Максималь-

ные продольные силы превысили силу торможения на величину до 64 % при плавном нарастании последней в течение 5 с, до 58 % – при 10 с, до 30 % – при 15 с. Нарастание тормозной силы в течение периода продольных колебаний поезда  $T_{ск}$ , как указывалось ранее, отличающегося по своему значению для каждого из рассматриваемых поездов, приводит практически к выравниванию продольных сил, максимальные значения которых при этом не превышают 500 кН. Таким образом, при обеспечении примерно одинакового уровня продольных сил в поездах с мягкими характеристиками амортизаторов достижение нужного значения тормозной силы может быть реализовано за меньший период времени. При линейных характеристиках требуется до 30 % времени больше, а при жестких – до 60 %.

Аналогичные результаты получены для однородных по массе поездов с составом из 75 и 50 вагонов. Их анализ показал, что с уменьшением числа вагонов обеспечение низкого уровня продольных сил (ниже тормозной силы локомотива) достигается при более резком нарастании тормозной силы. Это подтверждает сделанные ранее выводы, так как с уменьшением массы и числа вагонов период собственных продольных колебаний поезда уменьшается и требуется меньше времени на увеличение тормозной силы до требуемого значения.

Рассмотрено торможение неоднородных по массе поездов. Состав сформирован из 20 груженых и 40 порожних вагонов массой соответственно 100 и 24 т. Груженные расположены с 21-го по 40-й вагоны. Остальные характеристики – как в предыдущих расчетах. Результаты вычислений представлены на рисунке 2. Стоит отметить, что в неоднородных по массе поездах с зазорами в связях наибольшие силы возникают именно между наиболее загруженными вагонами и носят ударный характер, в то время как между порожними характерно распространение упругих сил длительного действия. Низкий уровень продольных сил достигается при нарастании тормозной силы за время, равное и более  $T_{ск}$  – 12, 10 и 9 с соответственно при жестких, линейных и мягких характеристиках амортизаторов.

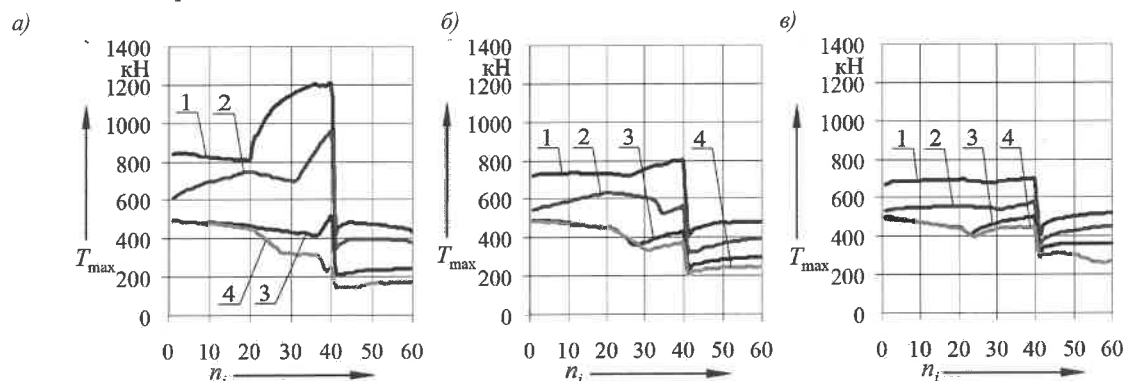


Рисунок 2 – Распределение максимальных продольных сил в неоднородном поезде с составом из 60 вагонов при жестких (а), линейных (б) и мягких (в) характеристиках амортизаторов и времени нарастания тормозной силы до максимального значения 500 кН: 1 – 1 с; 2 – 5 с; 3 – 10 с; 4 – 15 с

Представленные результаты подтверждают эффективность снижения продольных сил в поездах путем плавного увеличения тормозной силы локомотива до требуемого значения, в том числе при наличии зазоров в межвагонных соединениях. Нарастание тормозной силы за время, равное и более периода собственных продольных колебаний поезда, способствует снижению максимальных сил в связях до уровня тормозной силы и ниже. При этом  $T_{ск}$  уменьшается по мере уменьшения массы и длины поезда, а также при применении поглощающих аппаратов с мягкими силовыми характеристиками, при которых, в отличие от линейных и жестких характеристик,  $T_{ск}$  меньше на 30–60 %.

#### Список литературы

- 1 Сахаров, П. А. Оценка влияния характеристик межвагонных связей в поезде на величину продольных сил при электрическом торможении / П. А. Сахаров, А. О. Шимановский // Механика. Исследования и инновации : сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2019. – Вып. 12. – С. 171–181.
- 2 Shimanovsky, A. O. Research of the modern absorbing apparatus power characteristics influence on the freight train inter-car forces / A. O. Shimanovsky, P. A. Sakharau, M. G. Kuzniatsova // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 985. – P. 1–7.
- 3 Сахаров, П. А. Исследование влияния характеристик поглощающих аппаратов на продольные силы в поездах при электродинамическом торможении / П. А. Сахаров // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Бел. ж. д., Гомель, 24–25 нояб. 2022 г. : в 2 ч. Ч. 1. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 166–168.