

Обоснование скорости нарастания давления в тормозных цилиндрах грузовых вагонов из условий уменьшения продольных динамических усилий

В.А. Карпычев,

д.т.н., заведующий кафедрой «Машиноведение, проектирование, стандартизация и сертификация» ФГАОУВО «Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ))

С.Г. Чуев,

к.т.н., генеральный конструктор АО МТЗ ТРАНСМАШ, Заслуженный конструктор России

С.В. Беспалько,

д.т.н., профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» РУТ (МИИТ)

А.Б. Болотина,

к.т.н., доцент кафедры «Машиноведение, проектирование, стандартизация и сертификация» РУТ (МИИТ)

Для улучшения динамики управления поездом и повышения безопасности его движения специалистами АО МТЗ ТРАНСМАШ и РУТ (МИИТ) были проведены исследования и выработаны рекомендации по обоснованию параметров тормозной системы при торможении из условий минимизации продольных нагрузок в составе грузового поезда. В [1] были представлены результаты исследований по обоснованию статических параметров воздухораспределителя – максимальные давления в тормозных цилиндрах (ТЦ) на порожнем и среднем режиме торможения. В данной статье рассмотрены динамические параметры – скорости нарастания давления в ТЦ при торможении из условий минимизации продольных осевых нагрузок в составе.

Постановка задачи и исходные данные

Исследования проводились на основе разработанной модели продольной динамики 100-вагонного грузового поезда неблагоприятного формирования при торможении [1]. Начальная скорость состава при торможении обосновывалась из условий проявления глобального максимума продольных реакций. Базовые значения давлений в ТЦ: 1,4 кгс/см² при порожнем режиме, 3,0 кгс/см² при среднем режиме. В качестве вариативных принимались максимальные давления в ТЦ как на порожнем, так и на среднем режиме торможения. Динамические параметры менялись за счет изменения отверстий наполнения ТЦ при торможении воздухораспределителя.

Расчеты выполнялись для следующих схем разрядки магистрали:

- **вариант 1** – с одной точкой разрядки (в голове состава);
- **вариант 2** – с двумя симметричными точками разрядки (в голове и в хвосте);
- **вариант 3** – с двумя несимметричными точками разрядки (в голове и на расстоянии 1/3 вагонов от хвоста состава);

- **вариант 4** – с тремя симметричными точками разрядки (в голове, в середине и в хвосте);
- **вариант 5** – с тремя несимметричными точками разрядки (в голове, на расстоянии 2/5 от головы и на расстоянии 4/5 от головы состава).

Исследования проводились поэтапно. На I этапе изучались продольные динамические усилия (ПДУ) при изменении отверстия наполнения ТЦ. На II этапе изменялись максимальные давления в ТЦ и отверстия их наполнения. На III этапе оценка ПДУ осуществлялась при изменении максимальных давлений в ТЦ. Динамические характеристики воздухораспределителя в этом случае моделировались за счет переменных отверстий при наполнении ТЦ.

В качестве допускаемых значений в соответствии с нормами [2] принимались следующие: из условия усталостной прочности автосцепки – 100 тс (1 МН); из условия устойчивости от выжимания при действии сжимающих сил (для порожних вагонов) – 50 тс (0,5 МН).

Оценка максимальных ПДУ для нормативных значений давления и изменении скорости наполнения ТЦ

На рисунке 1 представлены характеристики изменения наименьших максимальных сжимающих продольных усилий (R_{max}) в составе при торможении в зависимости от диаметра отверстия наполнения ТЦ грузовых вагонов при различных схемах разрядки магистрали. Анализ зависимостей показывает, что использование распределенной разрядки магистрали – вариантов 2 и 4 – дает определенный эффект по уменьшению ПДУ при торможении по сравнению с вариантом 1. Данный эффект наблюдается для отверстий ТЦ до 2,5-2,6 мм, далее он теряется, а при дальнейшем увеличении отверстия максимальные ПДУ для вариантов 2 и 4 становятся выше, чем для варианта 1. Следует отметить, что для схемы, предусматривающей разрядку с головы состава, снижение максимальных ПДУ осуществляется при изменении диаметра отверстия ТЦ до 3,0 мм.

На рисунке 2 показаны те же зависимости, но в диапазоне отверстий 1,7-2,5 мм. Из рисунка видно, что для варианта 2 минимум максимальных продольных усилий наступает для меньших отверстий, чем для других схем.

На рисунках 3 и 4 представлены аналогичные зависимости, но сгруппированные по количеству точек разрядки. Из рисунков видно, что симметричные схемы имеют лучший результат по сравнению с несимметричными применительно к рассматриваемому составу.

На рисунке 5 представлены минимальные значения максимальных сжимающих

продольных усилий для различных схем разрядки и диаметр отверстия, при которых эти значения реализуются. Отметим, что наименьшее значение продольных реакций для варианта 1 достигает 87 тс. Чуть выше для варианта 2 (88 тс), остальные превышают 90 тс. В целом все значения максимальных продольных сжимающих усилий превышают норму.

В ходе исследования влияния динамики наполнения ТЦ грузовых вагонов для всех схем разрядки магистрали при торможении было установлено, что увеличение диаметра отверстия наполнения ТЦ на среднем режиме торможения у грузовых вагонов приводит к определенному эффекту в плане снижения ПДУ. Для разных схем разрядок получены следующие выводы.

Для варианта 1:

- происходит практически линейное уменьшение максимальных ПДУ со стабилизацией в районе диаметра 3,0 мм;
- диапазон изменения продольных усилий составляет от 162 тс (1,7 мм) до 87 тс (3,0 мм);
- значение наименьших достигаемых усилий в этом случае составляет 87 тс (3,0 мм);
- для всего процесса торможения наблюдаются только усилия сжатия.

Для варианта 2:

- при отверстии 1,8 мм появляются растягивающие усилия, возрастающие при увеличении диаметра отверстия;
- максимальная величина растягивающих усилий достигает 60 тс при отверстии 3,0 мм;

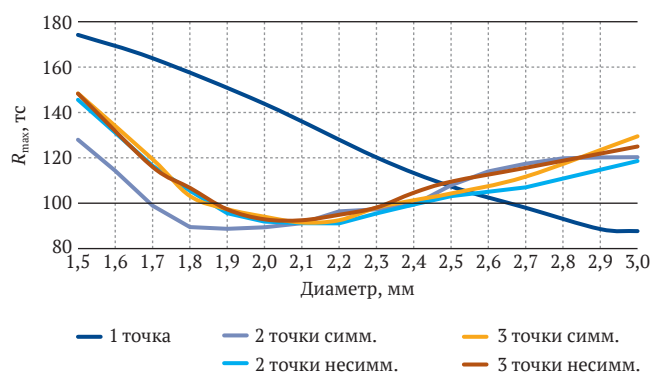


Рис. 1. Зависимости максимальной силы реакции (R_{max}) от диаметра отверстия тормозного цилиндра, диапазон изменения – от 1,5 до 3,0 мм

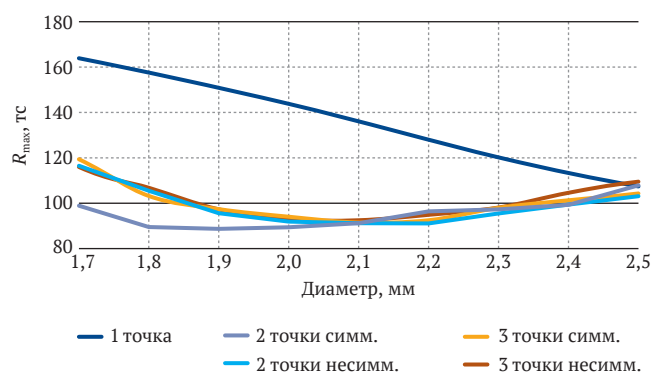


Рис. 2. Зависимости максимальной реакции от диаметра отверстия тормозного цилиндра, диапазон изменения – от 1,7 до 2,5 мм

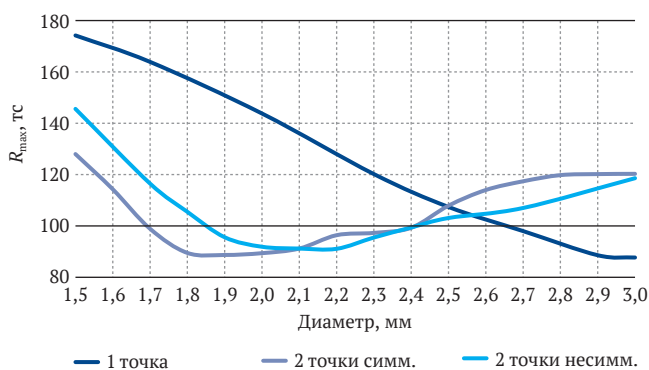


Рис. 3. Зависимости максимальной реакции от диаметра отверстия тормозного цилиндра для вариантов разрядки 1, 2, 3

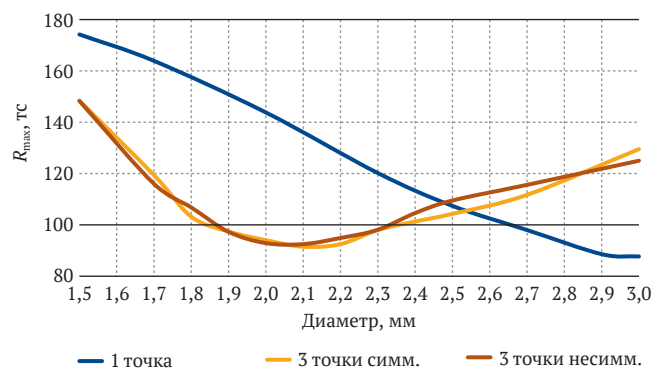


Рис. 4. Зависимости максимальной реакции от диаметра отверстия тормозного цилиндра для вариантов разрядки 1, 4, 5

- значение сжимающих усилий в зависимости от диаметра отверстий изменяется в диапазоне от 130 тс до 90 тс;
- зависимость изменения ПДУ от диаметра отверстия наполнения ТЦ имеет устойчивый минимум в районе от 1,9 мм до 2,0 мм.

Для варианта 3:

- при отверстии 2,0 мм появляются растягивающие усилия, возрастающие при увеличении диаметра отверстия;
- максимальная величина растягивающих усилий достигает 40 тс при отверстии 3,0 мм;
- ПДУ имеют увеличение и падение сил с отдельными всплесками, что указывает на более сложный характер их изменения, чем для симметричной схемы;
- изменение продольных усилий сжатия происходит в диапазоне от 140 тс до 90 тс;
- выраженный минимум усилий сжатия наблюдается в районе диаметров отверстий 2,1-2,2 мм.

Для варианта 4:

- при отверстии 1,8 мм появляются растягивающие усилия, возрастающие при увеличении диаметра отверстия;

- максимальная величина растягивающих усилий достигает 45 тс при отверстии 3,0 мм;
- значение сжимающих усилий в зависимости от диаметра отверстий изменяется в диапазоне от 120 тс до 90 тс.
- зависимость изменения ПДУ от диаметра отверстия наполнения ТЦ имеет устойчивый минимум в районе 2,0-2,2 мм.

Для варианта 5:

- при отверстии 1,8 мм появляется небольшой всплеск (до 5 тс) растягивающих усилий;
- для диаметра отверстия 1,9 мм растягивающие усилия приобретают устойчивое проявление (12 тс) в некотором отрезке времени (1,5 с);
- максимальная величина растягивающих усилий достигает 45 тс при отверстии 3,0 мм, а их проявление наблюдается в диапазоне от 2,8 с до 7,8 с;
- изменение продольных усилий сжатия происходит в диапазоне от 145 тс до 91 тс;
- ПДУ имеют неустойчивый характер изменения, выражающийся в знакопеременных нагрузках, только при отверстии 3,0 мм в диапазоне времени от 7,5 с до 8,0 с, что указывает на большую устойчивость характеристики, чем для несимметричных схем;
- выраженный минимум усилий сжатия наблюдается в районе диаметров отверстий 2,0-2,2 мм.

Сравнительная оценка показывает, что с точки зрения уменьшения сжимающих ПДУ наилучшие результаты у схемы с одной точкой разрядки при отверстии диаметром 3,0 мм и симметричной с двумя точками разрядки с отверстием диаметром 1,9 мм.

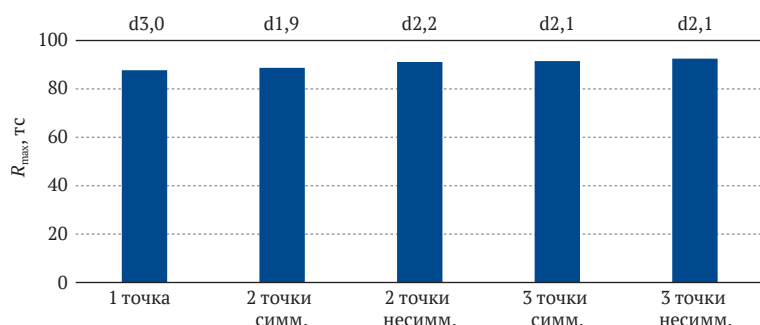


Рис. 5. Зависимости максимальной реакции от схемы разрядки при варьировании диаметра отверстий тормозного цилиндра (d, мм)

Главным является тот факт, что для всех рассмотренных схем полученные наименьшие ПДУ практически в 2 раза превышают допускаемые по нормативам значения.

Оценка максимальных ПДУ при изменении конечных давлений в ТЦ и скорости их наполнения

На основании проведенных исследований [1] был сделан вывод, что наиболее эффективной является симметричная схема с двумя точками разрядки, поэтому вариант 2 был взят за основу для дальнейших исследований.

Оценка ПДУ проводилась для отверстия наполнения ТЦ диаметром 1,9 мм, когда получаем наименьшие динамические усилия. Также изменялось максимальное давление в тормозном цилиндре для порожнего режима с 1,4 кгс/см² до 1,0 кгс/см². Данная схема была принята для исследований, в которых моделировалось одновременное влияние изменения давления в ТЦ порожнего вагона и диаметра отверстий.

На рисунке 6 представлены гистограммы минимальных продольных усилий при торможении для различных максимальных давлений на порожнем режиме и отверстия

Поэтому изменение динамических характеристик за счет варьирования диаметра отверстия наполнения ТЦ не приводит к получению ожидаемого эффекта.

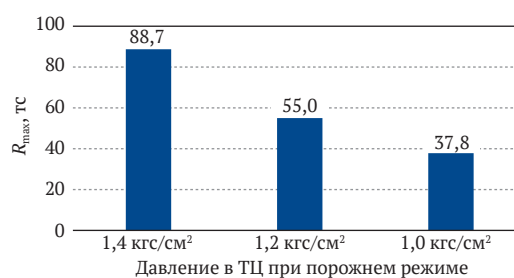


Рис. 6. Наименьшие максимальные реакции при различных значениях давления на порожнем режиме и диаметре отверстия наполнения тормозного цилиндра на среднем режиме 1,9 мм

наполнения ТЦ диаметром 1,9 мм. Из рисунка видно, что уменьшение максимального давления в ТЦ на порожнем режиме торможения на 0,4 кгс/см² снижает максимальные ПДУ на 54,9 тс, то есть практически на 67%, что подтверждает высокую чувствительность ПДУ к изменению максимального давления на порожнем режиме.

Выводы

Комплексные мероприятия по уменьшению ПДУ дают определенный эффект. Имеет место высокая чувствительность ПДУ к изменению максимального давления на порожнем режиме.

Уменьшение максимального давления в ТЦ на порожнем режиме торможения на 0,4 кгс/см² снижает максимальные ПДУ на 54,9 тс, то есть практически на 67%.

Наилучшие результаты получены для разрядки по симметричной двухточечной схеме (вариант 2) с максимальным давлением в ТЦ на порожнем режиме 1,0 кгс/см² и с отверстием наполнения ТЦ на среднем режиме диаметром 1,9 мм. При таких характеристиках воздухораспределителя максимальное продольное усилие составляет 37,8 тс. В результате исследований теоретически найден диаметр отверстия,

через которое происходит наполнение ТЦ, позволяющее максимально сократить продольные усилия в грузовом поезде.

Список использованной литературы

1. Карпычев В.А., Чуев С.Г. и др. Обоснование уровня давления в тормозных цилиндрах грузовых вагонов из условий уменьшения продольных динамических усилий / В.А. Карпычев, С.Г. Чуев, С.В. Беспалько, А. Б. Болотина // Техника железных дорог. – 2020. – № 2 (50). – С. 72–75.
2. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – ГосНИИВ – ВНИИЖТ. – М., 1996. – 317 с. (S)