

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СХЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНОГО ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА НА ДИНАМИЧЕСКУЮ НАГРУЖЕННОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ВАГОНОВ ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ

Проведена оценка влияния схемы формирования поезда, составленного из загруженных и порожних полувагонов, на безопасность его движения при таких переходных режимах, как торможение, пуск в ход и движение по переломам продольного профиля пути.

Проведено оцінку впливу схеми формування поїзда, до складу якого включено завантажені та порожні вагони, на безпеку його руху при таких перехідних режимах руху, як гальмування, рушання з місця та рух по переломах поздовжнього профілю колії.

The make-up effects of the train consisting from loaded and empty gondola cars on safety of its motion in such transient regimes as braking, starting and motion along gradient changes are estimated.

**Введение.** Важнейшими задачами железнодорожного транспорта являются обеспечение безопасности движения вагонов и сохранность вагонного парка и транспортируемых грузов. При проектировании подвижного состава, расчетах динамических характеристик экипажей и выборе условий перевозки легкоповреждаемых грузов важно учитывать действующие на вагон продольные силы и знать уровни растягивающих и сжимающих сил, возникающих при переходных режимах движения, для сравнения их значений с величинами продольных нагрузок, установленными Нормами [1] при расчетах на прочность.

В работе [2] показано, что продольные сжимающие силы, возникающие в межвагонных соединениях и действующие на промежутке времени, составляющем порядка 2 с, не должны превышать 0,5 МН для порожних и частично загруженных четырехосных вагонов и 1,0 – 1,2 МН – для полностью загруженных.

В условиях эксплуатации наибольшие продольные силы возникают при выполнении маневровых операций и при переходных режимах движения. Значительную часть внештатных ситуаций при выполнении маневровых работ составляют столкновения и сходы подвижного состава, вызванные торможением вагонов при спуске их с сортировочных горок, превышением скоростей движения, отказом технических устройств. Основное нарушение правил технической эксплуатации – это отступление от требований по одному из наиболее важных факторов – скорости соударения вагонов. Значение регламентируемой скорости составляет 5 км/ч, при выполнении же маневровых работ скорость соударения вагонов может превышать допустимую в 2 – 3 раза и достигать порядка 20 км/ч [3]. Это приводит к возникновению значительных продольных сил, действующих на конструкции вагонов, и к повреждениям вагонов и транспортируемых грузов.

При переходных режимах движения поездов, когда зазоры в межвагонных соединениях не проявляются, силы изменяются медленно, и такие режимы можно рассматривать как квазистационарные. В тех случаях, когда зазоры в упряжи оказывают существенное влияние на ход переходного процесса, изменение продольных усилий носит ударный характер. При этом изменения усилий во времени часто имеют значительные постоянные составляющие, т. е. в эксплуатационных режимах движения в межвагонных соединениях возникают быстро меняющиеся по величине продольные силы, которые в

своем составе могут иметь длительно действующие квазистатические силы, значения которых, как правило, тем больше, чем больше их мгновенные значения. Именно эти силы в значительной мере определяют условия безопасности движения, связанные с устойчивостью вагонов.

В работе [4] показано, что вертикальные и горизонтальные поперечные силы, действующие на колесные пары, зависят от уровня квазистатической продольной силы. Как известно, с увеличением вертикальных и горизонтальных поперечных сил уменьшается коэффициент запаса устойчивости против схода колесной пары с рельсов [5].

При переходных режимах движения поезда такие процессы экспериментально зарегистрированы при полном служебном торможении длинносоставного грузового поезда массой 10000 т на опытном кольце ВНИИЖТ МПС, при регулировочном торможении объединенного сдвоенного поезда с одним локомотивом в голове и другим – в середине состава [6]. В работе [7] проведен анализ результатов экспериментальных и теоретических исследований по устойчивости движения легковесных вагонов в составе грузового поезда с учетом действия продольных сил, возникающих при переходных режимах движения.

Чем длиннее поезд, тем более строгие требования следует предъявлять к его формированию с точки зрения однородности включаемых в него вагонов. Однородность поезда заключается не только в подобии включенных в него вагонов, но и в соблюдении равномерного распределения вагонов разной массы по длине состава. Опасная ситуация может возникнуть при движении не только длинносоставного грузового поезда, но и поезда обычной длины массой 6000 т в случае его формирования из вагонов разных типов, предназначенных для транспортирования жидких, сыпучих и амортизированных грузов. Неоднородность состава по типу и массе включаемых в него вагонов, особенно легковесных или незагруженных, может привести к существенному увеличению наибольших значений продольных усилий в поезде, которые зависят от схемы формирования состава, распределения зазоров в междвагонных соединениях, типа переходного процесса, вида перевозимого груза.

**Постановка задачи. Методы решения.** Для оценки безопасности движения вагонов в составе поезда выполнено компьютерное моделирование переходных режимов движения поезда, что позволяет исследовать динамическую нагруженность как отдельных вагонов, так и полносоставного поезда, сформированного из вагонов разных типов.

Проведем оценку влияния схемы формирования поезда, составленного из нагруженных и порожних четырехосных полувагонов, на безопасность его движения при переходных режимах. Для определения продольных сил, возникающих в междвагонных соединениях при движении поезда, вагоны рассмотрим как абсолютно твердые тела, упругие свойства которых учтены характеристиками междвагонных соединений. Расчетную схему поезда представим одномерной цепочкой твердых тел, соединенных существенно нелинейными деформируемыми элементами. На  $i$ -е тело цепочки действуют силы, зависящие от характеристик междвагонных соединений, и внешние силы, определяемые режимом движения поезда [8 – 10].

Исследуем динамическую нагруженность вагонов неоднородного грузового поезда при экстренном торможении. Предполагаем, что поезд составлен из локомотива ВЛ80 и 69 четырехосных полувагонов, автосцепные устройства которых оборудованы пружинно-фрикционными поглощающими аппара-

тами. Масса локомотива составляет 184 т, масса загруженного вагона – 94 т, порожнего – 24 т. Длина локомотива по автосцепкам равна 32,84 м, длина вагона – 13,92 м. Жесткость межвагонного соединения при нагрузке равна 26 МН/м, ход двух поглощающих аппаратов – 0,07 м, жесткость конструкции вагона – 85 МН/м, коэффициент необратимого поглощения энергии – 0,95, коэффициент вязкого трения – 0,3 МН·с/м. Параметры межвагонного соединения выбраны такими, как в работе [8]. Подвижной состав оборудован воздухораспределителями № 483, вагоны – композиционными колодками, локомотив – чугунными. Скорость бега тормозной волны составляет 300 м/с, время наполнения тормозного цилиндра головного экипажа – 15 с, хвостового – 33 с [11]. Воздухораспределители на груженных вагонах работают на среднем режиме. Силы нажатия на ось равны соответственно для локомотива 140 кН, для вагона груженого – 30 кН, для порожнего – 17,5 кН.

Оценим динамическую нагруженность вагонов при переходных режимах движения грузового поезда, сформированного из локомотива ВЛ80 и вагонов, расположенных, начиная с головы поезда, следующим образом: 69 груженных полувагонов (схема 1); 35 груженных и 34 порожних полувагонов (схема 2); 34 порожних и 35 груженных полувагонов (схема 3); 18 груженных, 34 порожних и 17 груженных полувагонов (схема 4); 30 груженных, 34 порожних и 5 груженных полувагонов (схема 5).

**Анализ результатов.** На рис. 1 приведены графики распределения максимальных сжимающих усилий  $S$ , возникающих в межвагонных соединениях неоднородного поезда для указанных выше схем его формирования при экстренном торможении со скорости 10 км/ч (номера линий соответствуют номерам схем формирования).

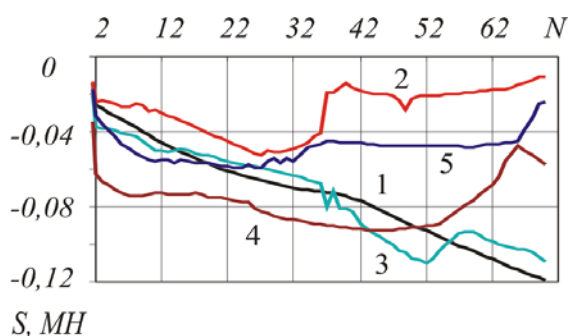


Рис. 1

Анализ полученных результатов показал, что в случае, когда в состав поезда включены как груженные, так и порожние вагоны, расположение незагруженных вагонов в головной или в средней частях сухогрузного поезда приводит к возникновению наибольших сжимающих продольных усилий. При этом усилия, действующие на порожние вагоны, составляют порядка 0,6 – 0,9 МН (см. линии 3 и 4 рис. 1) и превосходят допускаемые [1], что может привести к потере устойчивости движения (сходу с рельсов) легковесных вагонов.

Исследован процесс экстренного торможения поезда, в состав которого включена небольшая группа порожних вагонов: семь порожних вагонов расположены в голове поезда, в середине состава и в хвостовой части. Наибольшие сжимающие усилия в межвагонных соединениях порожних вагонов воз-

никают в случае расположения их в средней части состава и составляют порядка 0,7 МН.

Отметим, что наличие в поезде одного порожнего вагона, расположенного во второй половине состава (51-й вагон), приводит к значительному изменению результатов расчета процесса торможения по сравнению с полученными для однородного поезда. При этом отличаются как распределения максимальных сжимающих усилий по длине поезда, так и осциллограммы усилий, возникающих в межвагонных соединениях вагонов, расположенных рядом с порожним вагоном. На рис. 2 показаны графики распределения максимальных сжимающих усилий по длине однородного (линия 1) и неоднородного (линия 2) поездов, при экстренном торможении поезда со скорости 60 км/ч.

На рис. 3 и 4 приведены графики изменения во времени продольного усилия, возникающего перед 52-м вагоном, расположенным за порожним вагоном, при экстренном торможении соответственно однородного и неоднородного поездов.

Результаты проведенных исследований экстренного торможения неоднородного грузового поезда, в состав которого входят загруженные до полной

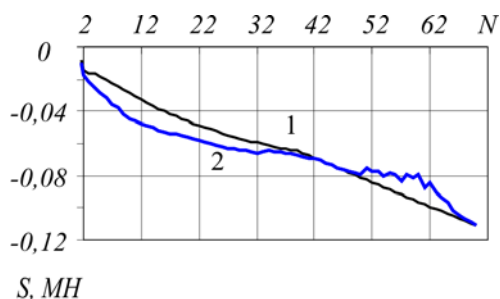


Рис.2

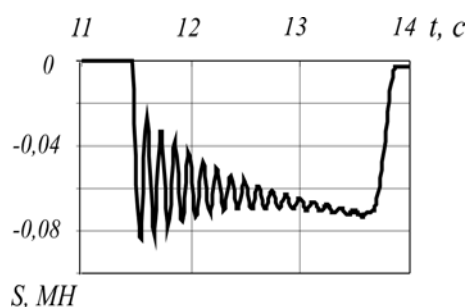


Рис. 3

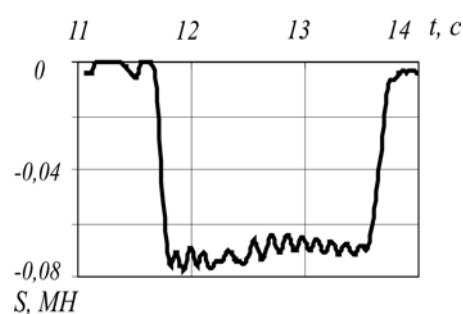


Рис. 4

грузоподъемности и порожние вагоны, показали, что наиболее благоприятная схема формирования с точки зрения устойчивости движения порожних вагонов такая, при которой легковесные вагоны находятся в хвостовой части поезда, что согласуется с выводами работ [12 – 15].

Оценим влияние схем формирования грузового поезда на динамическую нагруженность вагонов при таком переходном режиме движения, как пуск в ход. Предполагаем, что сила тяги нарастает по экспоненциальному закону, максимальное значение силы тяги составляет 0,4 МН. В поездах массой до 6000 т время увеличения силы тяги от нуля до максимального значения должно быть не менее 10 – 15 с.

На рис. 5 приведены графики распределения вдоль поезда значений максимальных растягивающих сил, возникающих в межвагонных соединениях при пуске в ход сжатого состава (зазоры в соединениях вагонов равны нулю). Как видно из приведенных на рис. 5 результатов, схема формирования грузового поезда, в состав которого входят как загруженные, так и порожние вагоны, существенно влияет на значения максимальных усилий и на характер их распределения по длине состава. Наибольшие значения растягивающих усилий получены при расположении группы загруженных вагонов во второй половине состава (схема 3). Значения усилий, действующих на порожние вагоны, составляют порядка 0,6 – 0,9 МН, на загруженные вагоны – 1,0 – 1,36 МН. При расположении порожних вагонов в средней части состава значения усилий соответственно составляют 0,65 – 0,80 МН и 0,80 – 1,17 МН.

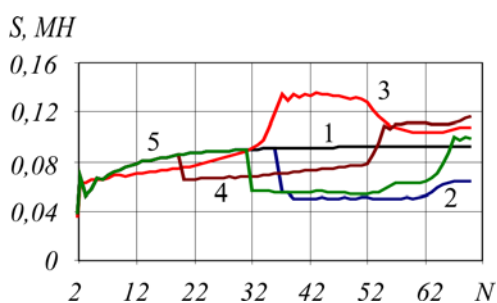


Рис. 5

Из анализа полученных результатов следует, что при пуске поезда в ход, как и при торможении, максимальные значения усилий в межвагонных соединениях порожних вагонов получены при их расположении в головной и средней частях состава.

Оценим динамическую нагруженность грузового поезда, сформированного по указанным выше схемам, при его движении по переломам продольного профиля пути “на выбеге”. Рассмотрим въезд с начальной скоростью 100 км/ч предварительно растянутого поезда на участок пути вогнутого профиля, разность уклонов которого составляет 20 %, т. е. поезд движется со спуска с уклоном 10 % на подъем с уклоном 10 %. Радиус кривой сопряжения рассматриваемых переломов продольного профиля пути составляет 20000 м. Проведенные исследования показали, что при движении грузового поезда по переломам продольного профиля пути наибольшие значения продольных сил возникают при расположении порожних вагонов в передней и средней частях состава.

Для оценки влияния неоднородности поезда на динамическую нагруженность экипажей при движении по переломам продольного профиля пути рассмотрим грузовой неоднородный поезд, сформированный по схеме 4, и однородный поезд такой же массы.

На рис. 6 приведены графики распределения максимальных сжимающих усилий по длине неоднородного (линия 1) и однородного (линия 2) поездов. Как видно из приведенных результатов, неоднородность привносит существенное изменение в распределение усилий по длине состава.

Анализ результатов расчета показал, что переходный процесс при движении неоднородного и однородного поездов имеет ударный характер. При этом характер изменения продольных сил в межвагонных соединениях неод-

нородного поезда существенно отличается от полученного для однородного состава. Наибольшее значение сжимающей силы в однородном поезде возни-

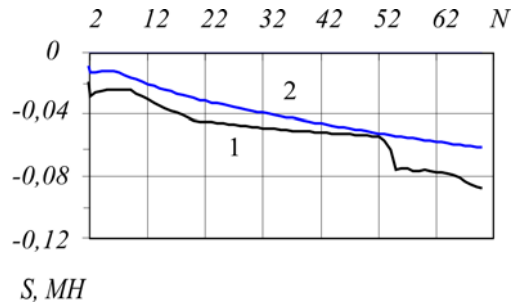


Рис. 6

кает при первом ударе. В случае же неоднородного поезда, в середине которого находятся порожние вагоны, максимальные значения усилий в некоторых сечениях возникают не в первый момент удара, а позже, что вызвано наездом к уже сжатой части состава груженых вагонов, расположенных в хвостовой части поезда.

При движении поезда, составленного только из порожних вагонов, по вогнутому профилю пути с разностью уклонов, не превосходящей 20 %, уровень усилий не превосходит допускаемых. Если же спуски превышают 10 %, то необходимы дополнительные исследования по определению безопасных режимов вождения таких поездов, так как длина уклонов, состояние состава по зазорам в межвагонных соединениях, скорость движения поезда, место расположения поезда на переломах продольного профиля пути существенно влияют на уровень продольных усилий, действующих на вагоны.

**Выводы.** Анализ результатов проведенных исследований переходных режимов движения неоднородных грузовых поездов – экстренного торможения на прямолинейном участке пути, пуска в ход, движения по переломам продольного профиля пути “на выбеге” – показал, что с целью повышения безопасности движения поездов целесообразно формировать железнодорожный грузовой состав таким образом, чтобы тяжеловесные вагоны находились в голове поезда, а за ними следовали порожние.

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М. : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
2. Вершинский С. В. Устойчивость вагонов от выжимания продольными силами при торможении поезда / С. В. Вершинский // Тр. ЦНИИ МПС. – 1970. – Вып. 425. – С. 4 – 38.
3. Беспалько С. В. Исследование соударений вагонов, оборудованных эластомерными поглощающими аппаратами, с использованием компьютерного моделирования / С. В. Беспалько, С. С. Андриянов // Вісник Дніпропетровського Національного університету залізничного транспорту. – 2004. – Вип. №5. – С. 7 – 8.
4. Лазарян В. А. Движение легковесных вагонов в составе тяжеловесных поездов / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин, Е. Л. Стамблер // Тр. ДИИТ. – М. : Транспорт, 1968. – Вып. 76. – С. 34 – 47.
5. Вериго М. Ф. Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго // Тр. ЦНИИ МПС. – М. : Трансжелдориздат, 1963. – Вып. 268. – 124 с.
6. Экспериментальные исследования продольных усилий в грузовых поездах массой до 10000 тонн при переходных режимах движения / О. Г. Бойчевский, П. Т. Гребенюк, Е. П. Блохин, И. Б. Феоктистов // Труды ЦНИИ МПС. – М. : Транспорт, 1970. – Вып. 425. – С. 55 – 85.
7. Блохин Е. П. К вопросу устойчивости движения легковесных вагонов в составе грузовых поездов / Е. П. Блохин, А. Н. Пишнько, А. Н. Заболотный // Транспорт. Збірник наукових праць. – 2000. – Вип. № 6. – С. 29 – 42.
8. Расчеты и испытания тяжеловесных поездов / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, Е. Л. Стамблер и др. – М. : Транспорт, 1986. – 263 с.

9. Блохин Е. П. Динамика поезда / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин. – М. : Транспорт, 1982. – 222 с.
10. Нагруженность вагонов-цистерн при переходных режимах движения поездов / Г. И. Богомаз, Н. Е. Науменко, А. Н. Пишнько, С. В. Мямлин. – Киев, 2010. – 215 с.
11. Асадченко В. Р. Автоматические тормоза подвижного состава : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / В. Р. Асадченко. – М. : Маршрут, 2006. – 392 с.
12. Лазарян В. А. Влияние неоднородности состава на продольные усилия в поезде / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин, Л. В. Белик // Тр. ДИИТ. – 1972. – Вып. 120. – С. 21 – 27.
13. Лазарян В. А. Влияние неоднородности состава на продольные усилия в поезде при экстренных торможениях / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин, Л. В. Белик // Тр. ДИИТ. – 1973. – Вып. 143. – С. 3 – 8.
14. Мугинштейн Л. А. Влияние продольных сил на опасность сходов порожних вагонов в поездах / Л. А. Мугинштейн, Ю. С. Ромен // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – № 3. – С. 3 – 6.
15. Динамическая нагруженность грузового поезда при его движении по переломам продольного профиля пути в режимах выбега и торможения / Н. Е. Науменко, И. Ю. Хижа, Ю. Г. Соболевская, Е. Г. Богомаз // Техническая механика. – 2010. – № 4. – С. 86 – 90.

Институт технической механики  
НАН Украины и НКА Украины,  
Днепропетровск

Получено 22.03.12,  
в окончательном варианте 28.04.12