

ДИНАМИЧЕСКАЯ НАГРУЖЕННОСТЬ ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ ПО ПЕРЕЛОМАМ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПУТИ В РЕЖИМАХ ВЫБЕГА И ТОРМОЖЕНИЯ

Проведены исследования динамической нагруженности неоднородного грузового поезда при его движении по пути ломаного профиля как на выбеге, так и с применением режима торможения.

Проведено дослідження динамічної навантаженості неоднорідного вантажного поїзда під час його руху по колії ломаного профілю як на вибігу, так і з застосуванням режиму гальмування.

Dynamic response of the non-uniform freight train when it moves on the track of a broken profile both at the stopping distance and in braking is studied.

Определение усилий, возникающих в межвагонных соединениях поездов при переходных режимах движения, имеет важное значение для решения многих инженерных задач в области проектирования, модернизации и эксплуатации подвижного состава железных дорог, а также при проектировании продольного профиля пути и разработке поглощающих аппаратов автосцепок [1 – 6]. Данные по продольным усилиям являются определяющими при выборе наиболее безопасной нагруженности вагонов поездов, в состав которых входят легковесные вагоны, вагоны-цистерны, транспортирующие экологически опасные грузы.

Весовая норма грузовых поездов в странах СНГ составляет 4 тыс. тонн. С целью повышения провозной способности магистралей во многих странах, в том числе в России и Германии, весовая норма поднята до 6 тыс. тонн. Необходимость повышения весовой нормы грузовых поездов и их эксплуатации на отдельных направлениях является актуальной и для Украины.

В настоящее время при решении задач динамики подвижного состава, в том числе и при исследовании аварийных ситуаций на сети железных дорог, связанных со столкновением поездов, наездом поезда на преграду, а также со сходом экипажей с рельсов, широко используется компьютерное моделирование.

Для оценки максимальных значений продольных усилий, возникающих в межвагонных соединениях неоднородного поезда, выполнено моделирование его продольной динамики с учетом конкретной схемы формирования при движении по пути различного ломаного профиля как на выбеге, так и с применением режима экстренного торможения. Вагоны рассмотрим как абсолютно твердые тела, упругие свойства которых учтены характеристиками межвагонных соединений. Расчетную схему поезда представим одномерной цепочкой твердых тел, соединенных существенно нелинейными деформируемыми элементами. На i -тое тело цепочки действуют силы S_i и S_{i+1} , зависящие от характеристик межвагонных соединений, и внешние силы F_i , зависящие от режима движения поезда. Движение поезда описывается системой дифференциальных уравнений

$$\dot{v}_i = m_i^{-1}[S_i - S_{i+1} + F_i] \quad (i = 1, 2, \dots, N);$$

$$q_i = x_{i-1} - x_i; \quad \dot{q}_i = v_{i-1} - v_i \quad (i = 2, 3, \dots, N)$$

с начальными условиями

$$v_i(0) = v_{i0}; \quad q_i(0) = q_{i0}; \quad x_1(0) = x_{i0},$$

где q_i – относительное перемещение центров масс двух соседних экипажей;
 v_i – абсолютная скорость i -го экипажа; m_i – масса i -го тела.

При движении поезда по переломам продольного профиля пути в режиме торможения возмущающие нагрузки F_i для i -го экипажа могут быть представлены соответственно выражениями, приведенными в работах [1, 8].

Рассмотрим неоднородный грузовой поезд, сформированный из локомотива ВЛ80 и 58 четырехосных вагонов различной степени загрузки. Длина поезда составляет 812 м, масса – 5010,5 т. Параметры межвагонного соединения определены с использованием силовой характеристики пружинно-фрикционного поглощающего аппарата Ш-2-В [9] и жесткости конструкции четырехосного вагона [10]. Рассмотрим движение поезда «на выбеге» со скоростью 60 км/ч на участке пути вогнутого профиля, когда поезд расположен за 200 м до сопрягающего участка пути и разность уклонов составляет 30 ‰. На рис. 1 приведены графики распределения по длине максимальных сжимающих (линии 1 и 2) и растягивающих (линии 3 и 4) усилий по длине для предварительно растянутого (рис. 1а) и сжатого (рис. 1б) поездов, когда радиусы сопрягающих круговых кривых равны соответственно $2 \cdot 10^4$ м (линии 1, 3) и $5 \cdot 10^4$ м (линии 2, 4). Значение зазора в межвагонном соединении равно 65 мм.

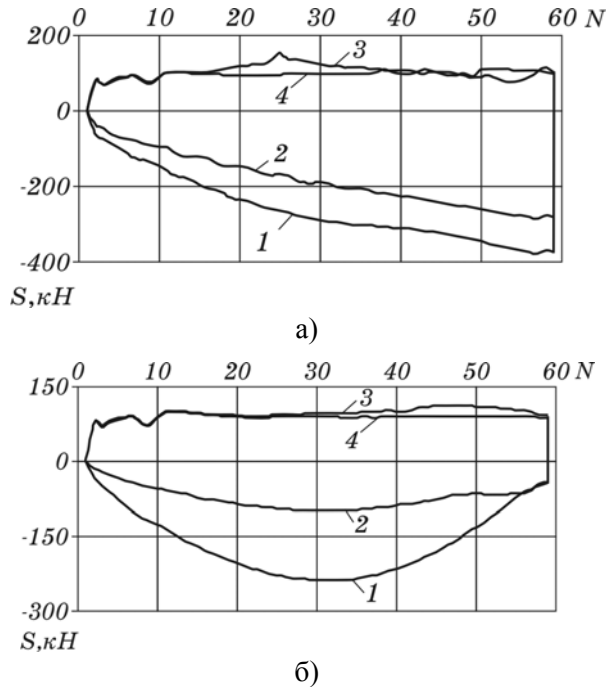


Рис. 1

Сравнение полученных результатов показало, что величина радиуса сопряжения отрезков пути постоянных уклонов оказывает влияние на уровень максимальных сжимающих усилий и в значительно меньшей мере на значения растягивающих усилий. Так, при радиусе сопряжения $2 \cdot 10^4$ м максимальные значения сжимающих и растягивающих усилий при движении растяну-

того поезда составляют соответственно 380 и 154 кН, при радиусе, равном $5 \cdot 10^4$ м – 286 и 112 кН. На рис. 2 и рис. 3 приведены осциллограммы продольных сил S_2, S_{31}, S_{59} , возникающих перед 1-м, 30-м и 58-м вагонами, соответственно для растянутого и сжатого поездов.

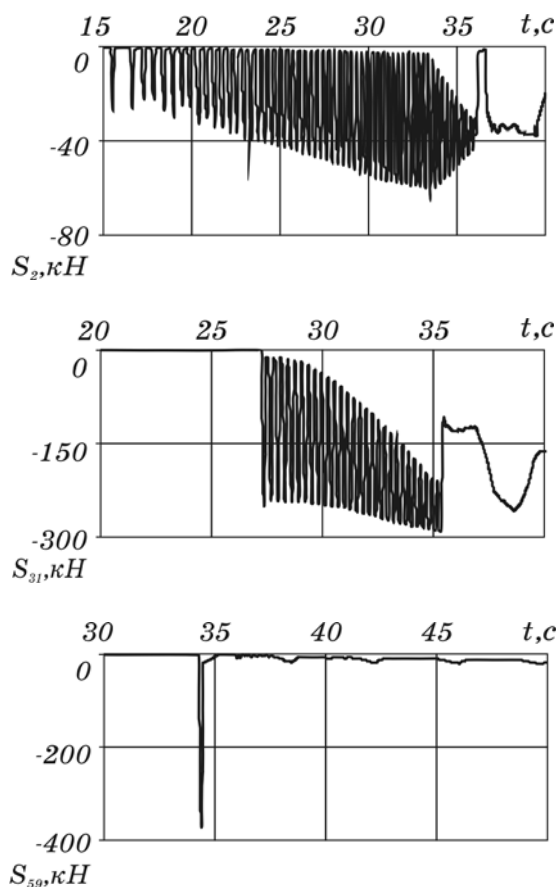


Рис. 2

Анализ полученных результатов показал, что изменение во времени усилий в межвагонных соединениях растянутого поезда имеет ударный характер, при этом максимальные значения растягивающих и сжимающих усилий составляют 154 и 380 кН. В случае, когда зазоры не влияют на переходной режим движения, изменение усилий в межвагонных соединениях имеет квазистатический характер, и максимальные значения усилий составляют соответственно 112 и 238 кН. Полученные результаты согласуются с данными, приведенными в работе [11], в которой исследовано влияния неоднородности состава на продольные усилия в поезде при его движении «на выбеге» по пути ломаного профиля.

Как правило, движение грузового поезда по переломам продольного профиля пути сочетается с действиями машиниста по управлению поездом. Наиболее часто применяется один из видов торможения поезда: экстренное, полное служебное или регулировочное [12, 13]. Результаты исследования движения неоднородного поезда, в состав которого включены вагоны-цистерны, в том числе и порожние, по переломам продольного профиля пути

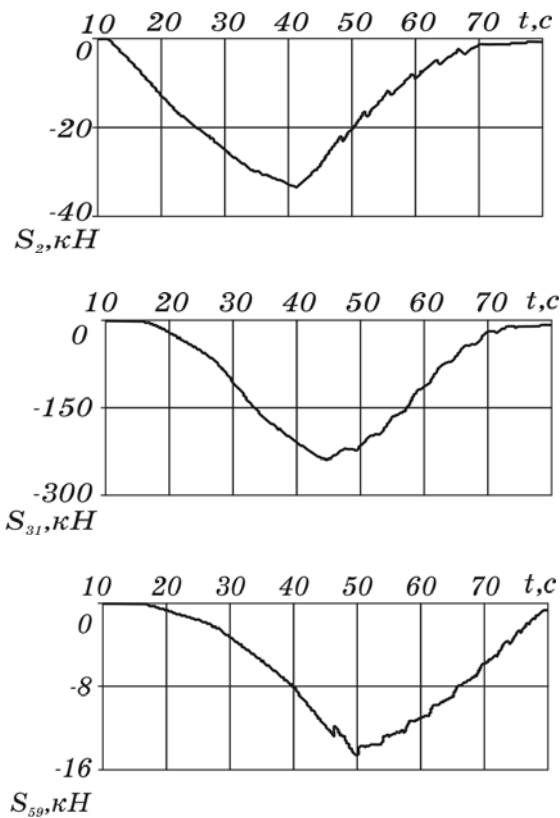


Рис. 3

в случае применения регулировочного торможения приведены в [13]. Оценка влияния неоднородности состава на уровень продольных усилий в поезде и характер их распределения по длине состава при экстренном торможении на горизонтальной площадке дана в работе [14].

Определим динамическую нагруженность конструкций вагонов в случае применения экстренного торможения при движении поезда на участке пути вогнутого профиля с разностью уклонов 30 ‰ и радиусом сопряжения участков $2 \cdot 10^4$ м. Предполагаем, что вагоны оборудованы воздухораспределителями тормозов условного номера 270-005, включенными либо на средний, либо на грузовой режим работы. В тормозной системе вагонов используются композиционные колодки. Сила нажатия на ось четырехосного вагона на грузовой режим равна 42,5 кН, на среднем – 30 кН. Локомотив оборудован чугунными тормозными колодками с силой нажатия на ось 140 кН. Для получения максимальных значений продольных усилий в межвагонных соединениях рассматривается экстренное торможение растянутого поезда, движущегося по уклону со скоростью 10 км/ч.

На рис. 4 приведены графики распределения максимальных сжимающих усилий по длине поезда, возникающих в межвагонных соединениях при движении поезда по перелому продольного профиля пути с применением экстренного торможения в момент, когда поезд расположен за 5 м до круговой кривой сопряжения участков пути. Линия 1 соответствует работе воздухораспределителей экипажей на грузовой режим, линия 2 – на среднем режиме.

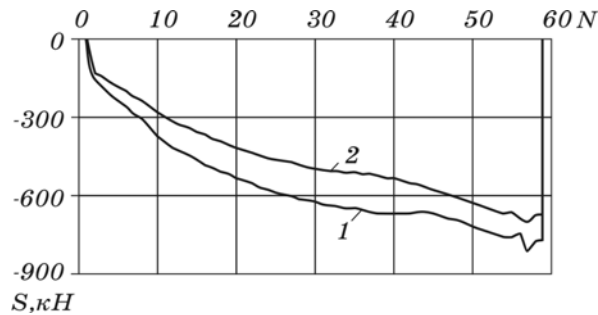


Рис. 4

При этом максимальные значения сжимающих усилий составляют соответственно 814 кН и 705 кН, тормозные пути – 41 м и 52 м. Как видно из приведенных результатов, включение воздухораспределителей экипажей на средний режим работы позволяет уменьшить уровень максимальных сжимающих сил при незначительном увеличении тормозного пути.

Анализ полученных результатов показал, что для рассматриваемого подвижного состава и выбранных в соответствии с силовыми характеристиками поглощающих аппаратов значений жесткостных параметров межвагонных соединений максимальные значения продольных усилий как при движении по переломам продольного профиля пути на выбеге, так и с применением экстренного торможения не превосходят допускаемых Нормами [7].

1. Лазарян В. А. О математическом моделировании движения поезда по переломам продольного профиля пути / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин // Тр. МИИТ. – 1974. – Вып. 444. – С. 83 – 123.
2. Блохин Е. П. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания) / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин. – М. : Транспорт, 1982. – 222 с.
3. Блохин Е. П. От материальной точки до нелинейной пространственной многомассовой модели поезда / Е. П. Блохин, К. И. Железнов, Л. В. Урсуляк // Вісник ДНУЗТ. – 2009. – Вып. 30. – С. 36 – 47.
4. Блохин Е. П. О торможении длинносоставных поездов / Е. П. Блохин, Л. В. Урсуляк, Н. И. Луханин // Залізничний транспорт України. – 2008. – № 5. – С. 19 – 21.
5. Блохин Е. П. Продольные нагрузки при переходных режимах движения поезда / Е. П. Блохин // Залізничний транспорт України. – 2000. – № 3. – С. 8 – 11.
6. Моделирование движения поезда в аварийных ситуациях / Е. П. Блохин, А. Н. Пишнько, С. В. Мямлин, Н. И. Грановская, Л. В. Урсуляк // Залізничний транспорт України. – 2005. – № 2. – С. 16 – 18.
7. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных). – М. : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 317 с.
8. Гребенюк П. Т. Динамика торможения тяжеловесных поездов / П. Т. Гребенюк. – М. : Транспорт, 1977. – 152 с.
9. Коломийченко В. В. Автосцепка подвижного состава / В. В. Коломийченко, В. Г. Голованов. – М. : Транспорт, 1973. – 191 с.
10. Интегральная оценка связей в поезде и определение их параметров по результатам натурных испытаний / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, Л. С. Бадикова // Тр. ДИИТ. – 1971. – Вып. 103. – С. 3 – 17.
11. Блохин Е. П. О влиянии неоднородности состава на продольные усилия в поезде при его движении по пути ломаного профиля / Е. П. Блохин, Л. Г. Маслеева // Тр. ДИИТ. – 1976. – Вып. 182/22. – С. 63 – 67.
12. Блохин Е. П. К задаче о регулировочном торможении по пути ломаного профиля / Е. П. Блохин, Л. В. Белик, Е. Л. Стамблер // Тр. ДИИТ. – 1973. – Вып. 152. – С. 79 – 86.
13. Нагруженность вагонов-цистерн при переходных режимах движения поездов / Г. И. Богомаз, Н. Е. Науменко, А. Н. Пишнько, С. В. Мямлин. – Киев : Наукова думка, 2010. – 215 с.
14. Науменко Н. Е. Оценка влияния силовых характеристик перспективных поглощающих аппаратов на динамику грузового поезда при нестационарных режимах движения / Н. Е. Науменко, И. Ю. Хижа, А. А. Никитченко // Техническая механика. – 2009. – № 2. – С. 27 – 31.

Институт технической механики
НАН Украины и НКА Украины,
Днепропетровск

Получено 18.09.10,
в окончательном варианте 08.10.10