

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463.015:519.2

В. Ф. УШКАЛОВ¹, Л. Г. ЛАПИНА^{1*}, И. А. МАЩЕНКО¹

¹Отдел статистической динамики механических систем, Институт технической механики НАН Украины и ГКА Украины, ул. Ляшко-Попеля, 15, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 376 45 94, эл. почта victush@gmail.com

^{1*}Отдел статистической динамики механических систем, Институт технической механики НАН Украины и ГКА Украины, ул. Ляшко-Попеля, 15, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47 24 55, эл. почта lglap@bigmir.net

¹Отдел статистической динамики механических систем, Институт технической механики НАН Украины и ГКА Украины, ул. Ляшко-Попеля, 15, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47 24 55, эл. почта mashdnsk@gmail.com

РАСЧЕТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Цель. Формирование реализаций расчетных возмущений для исследования динамических качеств железнодорожных экипажей. **Методика.** Основой для построения составляющих возмущения являются записи показаний вагона-путеизмерителя, зафиксированные на одном из характерных участков Приднепровской железной дороги. Для получения фактических геометрических параметров рельсовой колеи записи путеизмерителя, использующего двухточечную схему измерений, преобразуются с учетом передаточной функции измерительной системы. Модель расчетного возмущения представлена в виде четырех составляющих: симметричной вертикальной неровности, определяемой как полусумма вертикальных неровностей правого и левого рельсов; кососимметричной вертикальной неровности пути, определяемой как полуразность вертикальных неровностей правого и левого рельсов; горизонтальных неровностей правого и левого рельсов. Критерием приемлемости построенных возмущений является близость определенных с их помощью значений показателей динамических качеств вагонов и соответствующих экспериментальных данных. **Результаты.** Предложено три способа формирования расчетного возмущения. Первый – использование в качестве составляющих расчетных возмущений записей показаний вагона-путеизмерителя, зарегистрированных на участке с достаточно высокой для заданного состояния пути балльностью, при этом симметричные вертикальные составляющие возмущения, полученные по записям просадок, корректируются в зависимости от массо-жесткостных параметров исследуемого вагона. Второй – построение и применение теоретических реализаций неровностей, соответствующих по спектральному составу реальному пути. Третий – создание полигармонической модели возмущения, параметрами которой являются значения основных частот и амплитуд, характерных для неровностей железнодорожного пути. Возможность практического применения построенных моделей возмущений показана на примере определения нормируемых показателей динамических качеств порожнего и груженого полувагонов. Сравнение расчетных показателей с экспериментальными данными показало их достоверность. **Научная новизна.** Построены три модели расчетных возмущений, которые могут использоваться при расчетах по оценке максимальных значений нормируемых динамических показателей грузовых экипажей. **Практическая значимость.** Применение результатов таких исследований позволяет давать приемлемые прогнозные оценки показателей динамических качеств проектируемых или модернизируемых единиц железнодорожного подвижного состава, уточнять значения отдельных параметров системы на стадии создания опытных образцов, сокращать расходы на ходовые испытания и т. п.

Ключевые слова: грузовые вагоны; динамические качества; возмущения со стороны пути; неровности пути; показания вагона-путеизмерителя

Введение

Теоретические исследования, в частности расчеты вынужденных колебаний железнодорожных экипажей, на сегодняшний день являются неотъемлемой составляющей процесса создания новых или модернизации существующих единиц подвижного состава. Их результаты позволяют давать прогнозные оценки показате-

лей динамических качеств проектируемых или модернизируемых экипажей, корректировать значения отдельных параметров системы на стадии создания опытных образцов, сокращать расходы на ходовые испытания и т. п.

Для получения достоверных прогнозных оценок показателей динамических качеств грузовых вагонов наряду с обоснованным выбором расчетной схемы и учетом основных характе-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ристик системи [5, 8, 6, 11, 12] необхідним умовою являється коректне задання входних возмущень.

Інформацією для побудови возмущень, діючих на рейсовий екіпаж со сторони шляху, можуть бути, наприклад, показання вагона-шляхозимірного, який виробляє вимірювання геометричних параметрів рейсової колії в процесі руху, т. е. під динамічною навантаженням. Розроблені різні системи моніторингу і діагностики стану шляху, використання результатів роботи яких для розрахунків в кожному випадку має свої особливості [1–4, 13, 14]. На залізничних дорогах України стан рейсового шляху контролюється вагони-шляхозимірниками ЦНІІ-2 (або переобладнаними з них КВЛ-ПІМ), в яких застосовуються двохточкові схеми вимірювання вертикальних нерівностей кожної рейсової нити (просадок) і горизонтальних нерівностей (положення рейсових ниток по напрямку в плані).

Цель

Метою роботи є розробка способів формування реалізацій розрахункових возмущень для дослідження динамічних якостей залізничних екіпажів.

Методика

В цій роботі запропоновано три способи побудови розрахункових входних возмущень на основі записів показань вагона-шляхозимірного. Кожне возмущення включає в себе чотири складові: симетричну вертикальну нерівність рейсового шляху, характеризуючу нерівності профілю шляху і визначену як напівсума вертикальних нерівностей правої і лівої рейсових ниток; косиметричну вертикальну нерівність шляху, характеризуючу перевищення однієї рейсової нитки над іншою і визначену як напіврізниця вертикальних нерівностей двох рейсових ниток; дві горизонтальні нерівності – для правої і лівої рейсових ниток.

Оскільки записи показань шляхозимірного відрізняються від фактичних нерівностей шляху під ним як формою, так і величиною [8], то для усунення методичної похибки вимірювань вони повинні бути перетворені

з урахуванням передаточної функції вимірювальної системи. Формування реалізацій фактичних нерівностей для кожного аналізованого відрізка шляху здійснюється наступним чином: к записам просадок і нерівностей в плані застосовується пряме перетворення Фур'є, отримані комплексні коефіцієнти Фур'є множаться на комплексну обернену частотну характеристику вимірювальної системи (маючу різний вигляд для вертикальних і горизонтальних нерівностей), потім з допомогою оберненого перетворення Фур'є визначаються реалізації нерівностей [10].

Критерієм прийнятності побудованих возмущень є близькість визначених з їх допомогою значень показників динамічних якостей вагонів і відповідуючих експериментальних даних.

Результаты

Перший спосіб заключається в використанні як складових розрахункових возмущень безпосередньо записів показань шляхозимірного, зареєстрованих на ділянці з достатньо високою для заданого стану шляху балістичністю. Порівняння розрахункових значень нормованих показників динамічних якостей напіввагонів, отриманих при заданні возмущень, відповідуючих ділянці шляху хорошого стану, з результатами експериментів показало, що значення показників в вертикальній площині для порожнього вагона розташовані в області експериментальних даних, а для навантаженого – суттєво нижче її нижньої межі. В той же час розрахункові значення показників напіввагона в горизонтальній площині і якісно, і кількісно добре узгоджуються з результатами експериментів. Це дозволило передбачити, що вертикальні складові возмущення, сформовані по записам просадок, потребують корекції.

Необхідність корекції пов'язана з особливостями традиційного способу вимірювань: величина просадок рейсових ниток, вимірювана шляхозимірником і використовувана при формуванні вертикальних складових возмущення, залежить не тільки від геометричних нерівностей шляху, але і від динамічного взаємодія залізничного шляху

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

и вагона-путеизмерителя. На уровень динамической составляющей в каждой точке пути влияют многие параметры – участвующие во взаимодействии массы, упругие характеристики подвешивания, демпфирование в подвешивании, скорость движения экипажа, значение геометрической составляющей и др., поэтому для всех грузовых экипажей, имеющих значения параметров, отличные от параметров вагона-путеизмерителя, изготовляемого на базе пассажирского вагона, вертикальные составляющие расчетных возмущений нужно корректировать с учетом данных о параметрах конкретного вагона. Составляющие возмущения в горизонтальной плоскости, которые в меньшей степени испытывают влияние характеристик экипажа, а в основном определяются собственно геометрией пути, в корректировке не нуждаются.

Корректирующий коэффициент предлагается [10] приближенно определять в виде постоянной для данного грузового экипажа величины, взяв за основу способ корректирующих множителей [11].

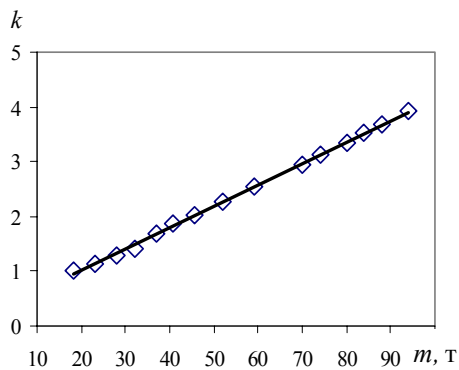


Рис. 1. Корректирующий коэффициент

Для широкого класса четырехосных грузовых вагонов с тележками модели 18–100 (или комплексно модернизированных тележек 18–100) построена зависимость (рис. 1) корректирующего коэффициента k от массы вагона (тары или брутто) m , выраженной в тоннах. При определении этого коэффициента использованы значения масс пятнадцати видов грузовых вагонов, оборудованных тележками модели 18–100 (маркеры \diamond). Как видно из графика, изменение уровня вертикальной составляющей возмущения при изменении массовых парамет-

ров вагонов является весьма существенным; для порожних вагонов корректирующий коэффициент близок к единице.

Зависимость корректирующего коэффициента от массы вагона, приведенная на графике, близка к линейной, поэтому ее можно заменить линейным трендом (сплошная линия на рис. 1) и описать уравнением

$$k = 0,039m + 0,231, \quad (1)$$

при этом величина квадрата смешанной корреляции, отражающая близость значений линии тренда к фактическим данным и в идеальном случае равная единице, составляет 0,999; относительная погрешность не превышает 5 %.

При использовании в качестве вертикальных составляющих возмущений неровностей правой и левой рельсовых нитей обработанные записи просадок необходимо умножать на корректирующие коэффициенты, значения которых различны в каждой точке пути [10].

Второй способ формирования расчетных входных возмущений в условиях недостатка экспериментальных данных о геометрии пути состоит в построении реализаций процессов, соответствующих по спектральному составу неровностям реального пути. Для этого оценки спектральных плотностей фактических неровностей пути группируются в зависимости от наибольшей на участке степени отступлений соответствующих неровностей от норм содержания рельсовой колеи. В качестве обобщающей характеристики используется огибающая максимальных значений спектральных плотностей. В этом случае полностью учитывается частотный состав анализируемых неровностей. Аналитическое выражение такой огибающей аппроксимируется дробно-рациональной функцией, аналогичной тем, которые рекомендованы для статистического описания случайных неровностей на дорогах различного качества содержания Федеральным управлением железных дорог США [12].

Далее с помощью алгоритма Райса – Пирсона генерируются теоретические реализации неровностей. Расчетные возмущения следует формировать из определенного сочетания таких реализаций с учетом наибольших на участке степеней отступлений неровностей от норм и комбинации случайных фаз гармонических

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

компонент, принимая во внимание тот факт, что характер изменения неровностей правой и левой рельсовых нитей близок к синхронному.

Отметим, что значения среднеквадратических отклонений показателей динамических качеств грузовых вагонов, полученные при использовании построенных согласно этому способу возмущений, будут существенно завышенными.

Третий способ построения расчетных возмущений базируется на применении результатов исследования частотного состава неровностей на различных участках пути. Частоты, при которых имеются значительные пики на графике спектральной плотности и, следовательно, доля энергии гармонических колебаний с этими частотами велика, будем называть характерными для анализируемого процесса. Основные характерные частоты для вертикальных неровностей железнодорожного пути в целом и соответствующие им амплитуды определены по результатам анализа спектральных плотностей составляющих возмущений, полученных по записям вагона-путеизмерителя [7]. С использованием значений этих частот и амплитуд могут быть построены различные модели расчетного возмущения для проведения исследований динамических качеств полувагонов, вертикальные составляющие (симметричная и кососимметричная) которых представлены в виде линейной комбинации гармонических компонент:

$$B(x) = \sum_{i=1}^N a_i \cdot \sin(2\pi x / L_i), \quad (2)$$

где a_i и L_i , $i = \overline{1, N}$ – соответственно амплитуда и длина волны гармонической компоненты; N – количество гармонических компонент в модели возмущения.

Горизонтальные составляющие такого возмущения могут быть представлены в аналогичном виде с учетом результатов амплитудно-частотного анализа горизонтальных неровностей пути.

Сравнение возмущений. Рассмотрим три модели возмущений, сформированных описанными выше способами:

– возмущение В1, соответствующее реальному участку пути с качественной оценкой «хо-

рошо» и суммой баллов по вертикальным неровностям 58 (54 балла за просадки правой рельсовой нити, одно отступление от норм содержания рельсовой колеи IV степени и два – II степени; 2 балла за просадки левой рельсовой нити, одно отступление II степени; 2 балла за перекося рельсовых нитей) и 17 баллов за отступления в плане по обоим рельсовым нитям;

– возмущение В2, построенное по аналитическим выражениям огибающих максимальных значений спектральных плотностей вертикальных неровностей пути с отступлениями от норм не выше II и IV степени и горизонтальных неровностей I и II степени по правой и левой рельсовым нитям соответственно;

– возмущение В3, вертикальные составляющие которого вычислены по формуле (2) с учетом восьми основных характерных частот и параметрами a_i и L_i , $i = \overline{1, 8}$ из табл. 1, 2 для $p = 0,99$ [6]; горизонтальные составляющие приняты такими же, как и в возмущении В1.

На рис. 2 показаны фрагменты вертикальных (симметричной и кососимметричной) и горизонтальных на двух рельсовых нитях составляющих указанных возмущений. Из графиков видно, что в основном самый низкий уровень симметричной составляющей имеет возмущение В1, более высокий – возмущения В2 и В3.

Наибольшее значение кососимметричной составляющей имеет возмущение В1, чуть ниже – В3 и самое низкое – В2. Как свидетельствуют данные ведомостей о состоянии пути, наиболее характерными неровностями, которые составляют основной вклад в балльность, являются перекося рельсовых нитей, что как раз соответствует высокому уровню кососимметричной составляющей возмущений. Следовательно, по этому признаку возмущения В1 и В3 наиболее соответствуют типичным реальным участкам пути.

Уровень горизонтальных составляющих и отличия на двух рельсовых нитях у всех возмущений примерно одинаковы. Это связано с тем, что горизонтальные составляющие возмущений, в отличие от вертикальных, практически не зависят от параметров экипажа, а определяются, в основном, геометрией пути.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

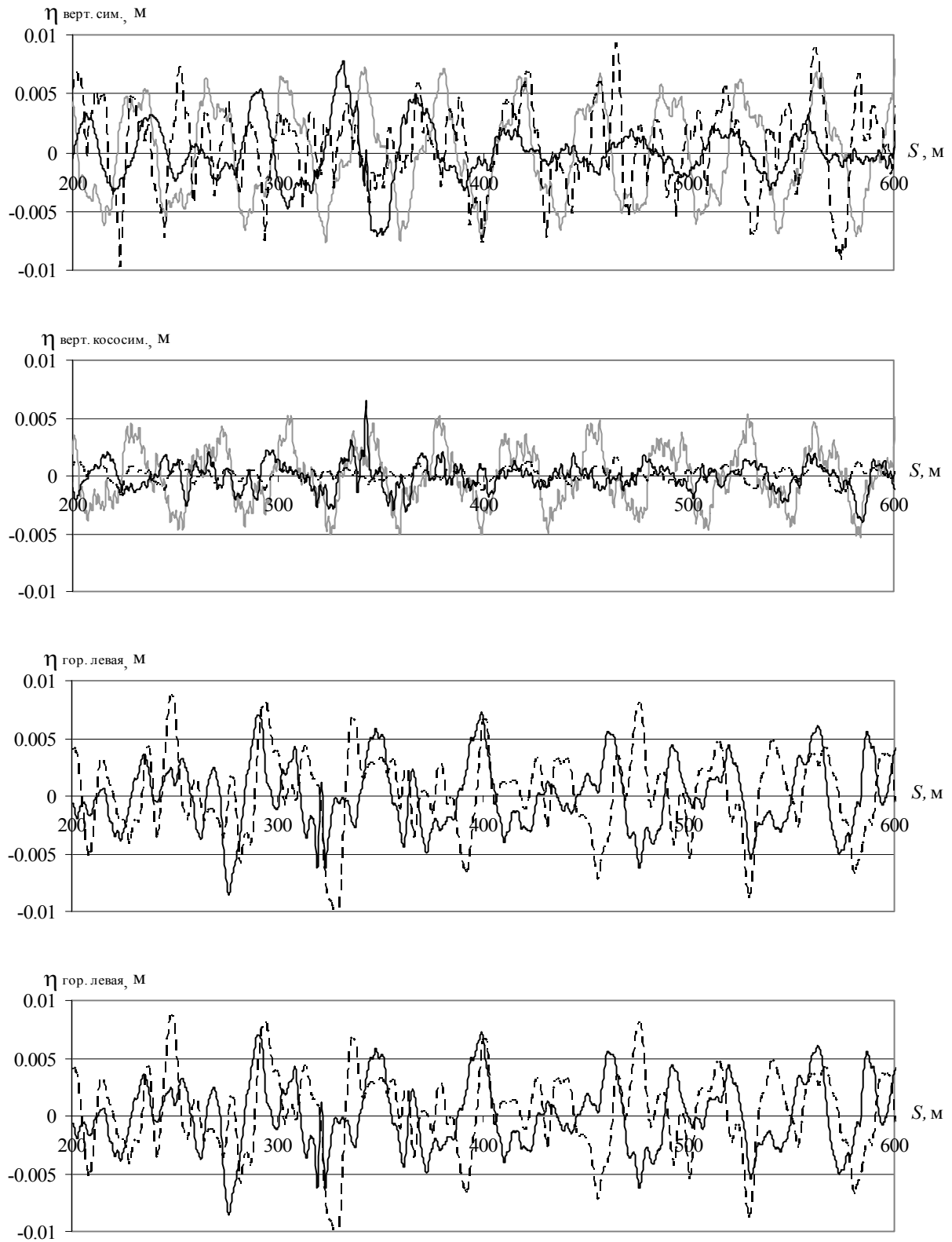


Рис. 2. Составляющие расчетных возмущений (сплошная темная линия – возмущение В1, штриховая линия – возмущение В2, сплошная светлая линия – возмущение В3)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

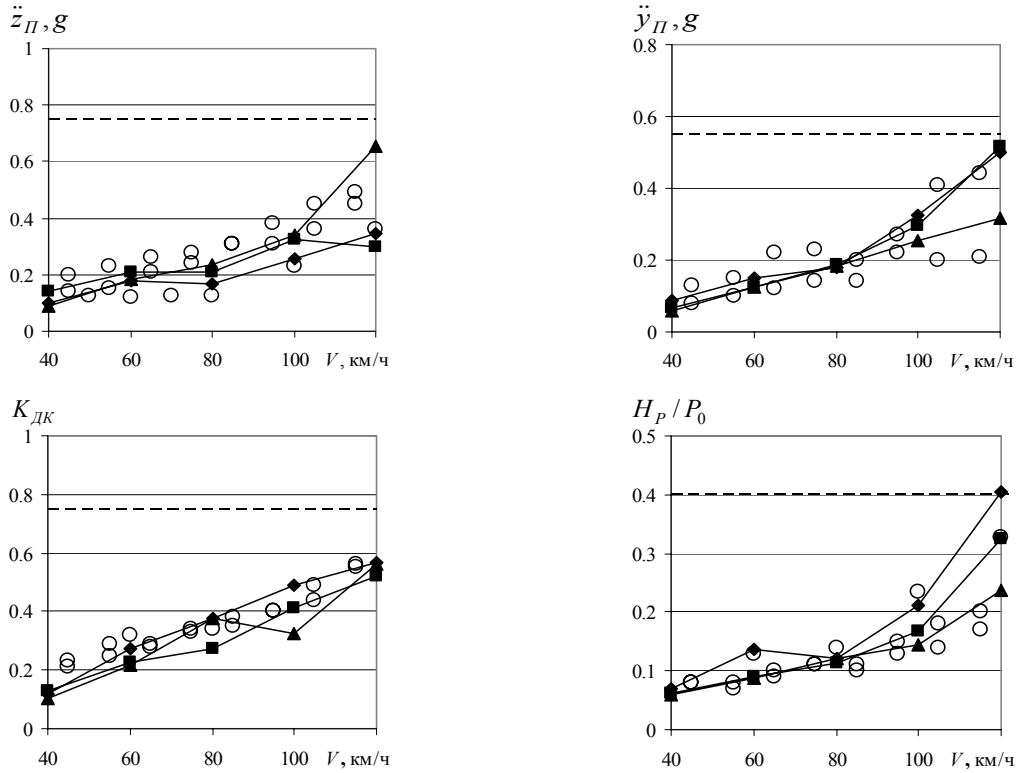


Рис. 3. Показатели динамических качеств порожнего полувагона

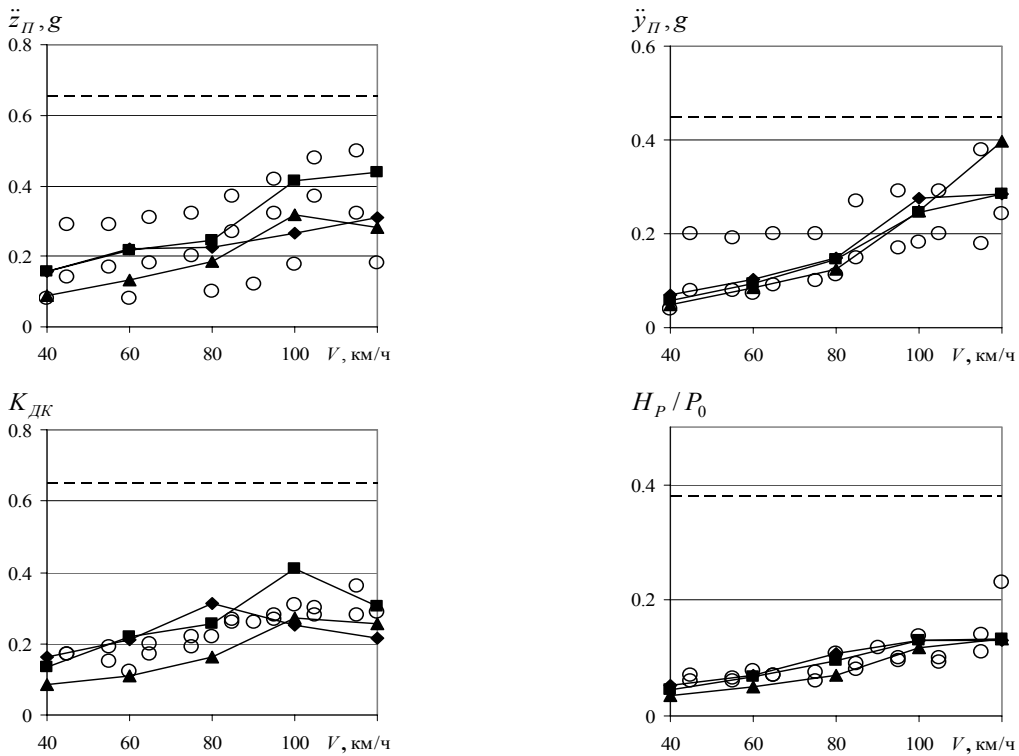


Рис. 4. Показатели динамических качеств груженого полувагона

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

При расчетах линейных систем можно спрогнозировать характер результатов, которые будут получены. Так, примерно в той же последовательности, что и уровни симметричных составляющих возмущений, будут располагаться максимальные значения вертикальных ускорений кузова, а максимальные значения горизонтальных ускорений кузова будут достаточно близкими. Поведение показателей, зависящих от нескольких составляющих возмущения, менее предсказуемо. При расчетах же нелинейных систем подобный прогноз сделать весьма затруднительно.

Для оценки возможности использования построенных моделей возмущений выполнены расчеты по определению показателей динамических качеств полувагонов, которые описываются нелинейными уравнениями. В качестве примера на рис. 3, 4 показаны зависимости от скорости движения максимальных значений вертикальных $\ddot{z}_П$ и горизонтальных $\ddot{y}_П$ ускорений пятников, коэффициентов вертикальной динамики $K_{ДК}$ кузова и рамных сил H_P в долях статической осевой нагрузки P_0 порожнего и груженого полувагонов. Результаты, полученные при задании возмущения В1 – сплошные линии с маркерами \blacklozenge , возмущения В2 – сплошные линии с маркерами \blacktriangle , возмущения В3 – линии с маркерами \blacksquare . Маркеры \bigcirc на рисунках соответствуют экспериментальным значениям динамических показателей полувагонов, полученным на дорогах Украины и России; горизонтальными штриховыми линиями нанесены уровни значений для «допустимого» хода вагона.

Как видно из рисунков, расчетные значения всех показателей имеют близкую к экспериментальной зависимость от скорости движения, лежат, в основном, в области экспериментальных данных и не превышают предельно допустимых значений. Следовательно, результаты, полученные с помощью всех трех предложенных моделей возмущений, можно считать приемлемыми для оценки максимальных значений нормируемых показателей динамических качеств грузовых вагонов.

Научная новизна и практическая значимость

Задание корректных входных возмущений при теоретической оценке динамических показателей экипажа необходимо для получения

достоверных прогнозов об эффективности эксплуатации на отечественных железных дорогах экипажей с измененной конструкцией или новых образцов. Предложенные способы построения расчетных возмущений, основанные на известных подходах, являются оригинальными с точки зрения разработанных схем их реализации.

Выводы

Предложенные три модели расчетных возмущений пригодны для использования при компьютерном исследовании динамических качеств грузовых вагонов. При этом наиболее достоверно оцениваются максимальные значения нормируемых показателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Боронахин, А. М. Малогабаритная интегрированная система диагностики рельсового пути / А. М. Боронахин, Л. Н. Олейник, Н. С. Филиппеня // Гироскопия и навигация. – 2009. – № 1 (64). – С. 63–74.
2. Боронахин, А. М. Мобильная инерциальная система мониторинга рельсового пути / А. М. Боронахин, Е. Д. Бохман // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2011. – № 10. – С. 84–91.
3. Боронахин, А. М. К вопросу о синтезе путеизмерительных комплексов нового поколения / А. М. Боронахин, В. И. Гупалов, Н. С. Филиппеня // Железные дороги мира. – 2004. – № 8. – С. 68–72.
4. Використання цифрової вимірювальної техніки для експериментальних досліджень взаємодії колії і рухомого складу / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган, О. М. Патласов, В. Є. Савлук // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 37. – С. 124–128.
5. Захаров, С. М. Математическое моделирование влияния параметров пути и подвижного состава на процессы изнашивания колеса и рельса / С. М. Захаров, Ю. С. Ромен // Вестн. ВНИИЖТа. – 2010. – № 2. – С. 26–30.
6. К вопросу моделирования пути при исследовании взаимодействия пути и подвижного состава / М. И. Уманов, В. В. Цыганенко, А. Г. Рейдемейстер, Н. В. Халипова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 30. – С. 239–242.
7. Лапина, Л. Г. Амплитудно-частотный анализ вертикальных неровностей железнодорожного

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- пути / Л. Г. Лапина, И. А. Машенко // Техническая механика. – 2012. – № 3. – С. 9–15.
8. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса / У. Дж. Харрис, С. М. Захаров, Дж. Ландгрэн и др. – М. : Интекст, 2002. – 408 с.
 9. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії : ЦП-0020 : затв. наказом Укрзалізниці від 17.01.1996 р. № 9-Ц. – К., 2005. – 48 с.
 10. Ушкалов, В. Ф. Расчетные возмущения для исследования динамики железнодорожных вагонов / В. Ф. Ушкалов, Л. Г. Лапина, И. А. Машенко // Заліз. трансп. України. – 2012. – № 1. – С. 38–41.
 11. Ушкалов, В. Ф. Статистическая динамика рельсовых экипажей / В. Ф. Ушкалов, Л. М. Резников, С. Ф. Редько. – К. : Наук. думка, 1982. – 360 с.
 12. Garg, V. K. Dynamics of Railway Vehicle Systems / V. K. Garg, R. V. Dukkipati. – New York : Academic Press, 1984. – 407 p.
 13. The influence of track irregularities on the running behavior of high-speed trains / I-Y. Choi, J-H. Um, J. S. Lee, H-H. Choi // Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. – 2013. – Vol. 227. – Issue 1. – P. 94–102.
 14. Pombo, J. An alternative method to include track irregularities in railway vehicle dynamic analyses / J. Pombo, J. Ambrósio // Nonlinear Dynamics. – 2012. – Vol. 68. – Issue 1–2. – P. 161–176.

В. Ф. УШКАЛОВ¹, Л. Г. ЛАПІНА^{1*}, І. О. МАЩЕНКО¹

¹Відділ статистичної динаміки механічних систем, Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України, вул. Ляшко-Попеля, 15, 49005, м. Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 376 45 94, ел. пошта victush@gmail.com

¹Відділ статистичної динаміки механічних систем, Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України, вул. Ляшко-Попеля, 15, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47 24 55, ел. пошта lglap@bigmir.net

¹Відділ статистичної динаміки механічних систем, Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України, вул. Ляшко-Попеля, 15, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47 24 55, ел. пошта mashdnsk@gmail.com

РОЗРАХУНКОВІ ЗБУРЕННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ ДИНАМІЧНИХ ЯКОСТЕЙ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Мета. Формування реалізацій розрахункових збурень для дослідження динамічних якостей залізничних екіпажів. **Методика.** Основою для побудови складових збурення є записи показань вагона-колієвимірника, зафіксовані на одній з характерних ділянок Придніпровської залізниці. Для отримання фактичних геометричних параметрів рейкової колії записи колієвимірника, який використовує двоточкову схему вимірів, перетворюються з урахуванням передаточної функції вимірної системи. Модель розрахункового збурення представлено у вигляді чотирьох складових: симетричної вертикальної нерівності, яка визначається як півсума вертикальних нерівностей правої та лівої рейок; кососиметричної вертикальної нерівності, яка визначається як піврізниця вертикальних нерівностей правої та лівої рейок; горизонтальних нерівностей правої і лівої рейок. Критерієм прийнятності побудованих збурень є близькість визначених за їх допомогою значень показників динамічних якостей вагонів і відповідних експериментальних даних. **Результати.** Запропоновано три способи формування розрахункового збурення. Перший – використання як складових розрахункових збурень записів показань вагона-колієвимірника, зареєстрованих на ділянці з досить високою для заданого стану колії бальністю, при цьому симетричні вертикальні складові збурення, отримані за записами осідань, коригуються залежно від масо-жорсткісних параметрів досліджуваного вагона. Другий – побудова і застосування теоретичних реалізацій нерівностей, які за спектральним складом відповідають реальній колії. Третій – створення полігармонічної моделі збурення, параметрами якої є значення основних частот і амплітуд, характерних для нерівностей залізничної колії. Можливість практичного застосування побудованих моделей збурень показана на прикладі визначення нормованих показників динамічних якостей порожнього й навантаженого піввагонів. Порівняння розрахункових показників з експериментальними даними показало їх достовірність. **Наукова новизна.** Побудовано три моделі розрахункових збурень, які можуть використовуватися при розрахунках щодо оцінки максимальних значень нормованих динамічних показників вантажних екіпажів. **Практична значимість.** Застосування результатів таких досліджень дозволяє давати прийнятні прогнозні оцінки показників динамічних якостей проєктованих або модернізованих одиниць залізничного рухомого складу, уточнювати значення окремих параметрів системи на стадії створення дослідних зразків, скорочувати витрати на ходові випробування й та ін.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Ключові слова: вантажний вагон; динамічні якості; збурення з боку колії; нерівності колії; показання вагона-колієвимірювача

V. F. USHKALOV¹, L. G. LAPINA^{1*}, I. A. MASHCHENKO¹

¹Dep. «Statistical Dynamics of Mechanical Systems», Institute of Technical Mechanics NASU&SSAU, Lyashko-Popel Str., 15, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 376 45 94, e-mail victush@gmail.com

^{1*}Dep. «Statistical Dynamics of Mechanical Systems», Institute of Technical Mechanics NASU&SSAU, Lyashko-Popel Str., 15, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 47 24 55, e-mail lglap@bigmir.net

¹Dep. «Statistical Dynamics of Mechanical Systems», Institute of Technical Mechanics NASU&SSAU, Lyashko-Popel Str., 15, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 47 24 55, e-mail mashdnsk@gmail.com

CALCULATED DISTURBANCES FOR EVALUATION OF DYNAMICAL PROPERTIES OF FREIGHT CARS

Purpose. To form realizations of the calculated disturbances for studying the dynamic properties of railway vehicles. **Methodology.** Records of the track-test car for one of the typical track sections of the Pridneprovsk railroad are the basic data for building the disturbance components. To derive the true geometric parameters of the railway gauge the records of the track-test car using a double-point metering circuit are transformed considering the transfer function of the measuring system. A model of the calculated disturbances is presented as the four components: a symmetric vertical irregularity determined as a semi-sum of vertical irregularities of the right and left rails; an oblique-symmetric vertical irregularity of the track determined as a semi-difference of vertical irregularities of the right and left rails; horizontal irregularities of the right and left rails. Acceptability criterion of the constructed disturbances is a relationship between the values of the dynamical properties factors of cars and the corresponding experimental data. **Findings.** The three techniques for the calculated disturbances forming are proposed. The first technique uses records of the track-test car for the track with a sufficiently high amount for given track conditions as components of the calculated disturbances. In so doing symmetrical vertical components of disturbances resulting from records of settling are corrected with the mass and stiffness parameters of the car under consideration. The second technique uses building and applying the theoretical realizations of irregularities corresponding to a real track according to a spectral analysis. The third technique ensures a polyharmonic model of disturbances, the parameters of which are the values of the basic frequencies and amplitudes that are typical for irregularities of a railway track. A possibility of practical applying of the constructed models of disturbances are presented using an example for defining the standardized factors of the dynamical properties of empty and loaded open cars. Comparison of the calculated factors and experimental data demonstrated its assurance. **Originality.** The three models of the calculated disturbances that can be used for calculating estimation of the maximal values of the standardized dynamical factors of freight vehicles are proposed. **Practical value.** The research results ensure an acceptable predicted evaluation of the dynamical properties factors for the designed or refitted vehicles of railway rolling stock, refinement of the values of the certain system parameters at the stage of prototypes, reduction of the expenses for performance trials, etc.

Keywords: freight cars; dynamic quality; disturbances from the road; track irregularity; track-test records

REFERENCES

1. Boronakhin A.M., Oleynik L.N., Filipenya N.S. Malogabaritnaya integrirovannaya sistema diagnostiki relsovogo puti [Small-scale integrated system of diagnostics of railway track]. *Giroskopiya i navigatsiya – Gyroscopy and Navigation*, 2009, no. 1, pp. 63-74.
2. Boronakhin A. M., Bokhman E. D. Mobilnaya inertsialnaya sistema monitoringa relsovogo puti [The mobile inertial system of monitoring of a rail way]. *Izvestiya SPbGETU "LETI" – Bulletin of SPSEU "LETI"*, 2011, no. 10, pp. 84-91.
3. Boronakhin A.M., Gupalov V.I., Filipenya N.S. K voprosu o sinteze puteizmeritelnykh kompleksov novogo pokoleniya [To the question of the track-test complexes synthesis of the new generation]. *Zheleznye dorogi mira – Railways of the world*, 2004, no. 8, pp. 68-72.
4. Bondarenko I.O., Kurhan D.M., Patlasov O.M., Savluk V.Ye. Vykorystannia tsyfrovoy vymiriuvanoi tekhniki dlia eksperymentalnykh doslidzhen vzaємodii kolii i rukhomoho skladu [The use of digital measuring technology for experimental studies of track and rolling stock interaction]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsional-*

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 37, pp. 124-128.
5. Zakharov S.M., Romen Yu.S. Matematicheskoye modelirovaniye vliyaniya parametrov puti i podvizhnogo sostava na protsessy iznashivaniya koleasa i relsa [Mathematical modeling of the influence of the track and rolling stock parameters on the processes of wheel and rail wear]. *Vestnik VNIIZhTa – VNIIZhT Bulletin*, 2010, no. 2, pp. 26-30.
 6. Umanov M.I., Tsyganenko V.V., Reydemeyster A.G., Khalipova N.V. K voprosu modelirovaniya puti pri issledovanii vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava [To the question of track modeling at the cooperation research of the track and rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 30, pp. 239-242.
 7. Lapina L.G., Mashchenko I.A. Amplitudno-chastotnyy analiz vertikalnykh nerovnostey zheleznodorozhnogo puti. [Amplitude and frequency analysis of the vertical irregularities of railway track]. *Tekhnicheskaya mekhanika – Technical mechanics*, 2012, no. 3, pp. 9-15.
 8. Kharris U.Dzh., Zakharov S.M., Landgren Dzh., Turne Kh., Ebersen V. *Obobshcheniye peredovogo opyta tyazhelovesnogo dvizheniya: voprosy vzaimodeystviya koleasa i relsa* [Generalization of advanced experience of heavy vehicle motion: wheel and rail interworking]. Moscow, Intekst Publ., 2002. 408 p.
 9. *Tekhnichni vkazivky shchodo otsinky stanu reikovoï kolii za pokaznykamy koliievymiriuvalnykh vahoniv ta zabezpechennia bezpeky rukhu poizdiv pry vidstupakh vid norm utrymannia reikovoï kolii* [Technical instructions in relation to estimation of the rail track state according to the parameters of the track-test cars and providing of train motion safety at the deviations from the norms of rail track maintenance]. Kyiv, 2005. 48 p.
 10. Ushkalov V.F., Lapina L.G., Mashchenko I.A. Raschetnyye vozmushcheniya dlya issledovaniya dinamiki zheleznodorozhnykh vagonov [Computation disturbances for dynamics research of the railway cars]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2012, no. 1. pp. 38-41.
 11. Ushkalov V.F., Reznikov L.M., Redko S.F. *Statisticheskaya dinamika relsovykh ekipazhey* [Statistical dynamics of rail cars]. Kyiv, Nauk. Dumka Publ., 1982. 360 p.
 12. Garg V.K., Dukkipati R.V. *Dynamics of Railway Vehicle Systems*. New York, Academic Press Publ., 1984. 407 p.
 13. Il-Yoon Choi, Ju-Hwan Um, Jun S Lee, Hyun-Ho Choi. The influence of track irregularities on the running behavior of high-speed trains. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2013, vol. 227, issue 1, pp. 94-102.
 14. Pombo J., Ambrósio J. An alternative method to include track irregularities in railway vehicle dynamic analyses. *Nonlinear Dynamics*, 2012, vol. 68, issue 1-2, pp. 161-176.

Статья рекомендована к публикации д.т.н. Н. А. Радченко (Украина); д.т.н., проф. С. В. Мямлиным (Украина)

Поступила в редколлегию 19.12.2012

Принята к печати 24.07.2013