



МАХМЕТОВА

Нарзанкуль Мусаевна

доктор технических наук, профессор
(Казахская академия транспорта
и коммуникаций
им. М. Тынышпаева)

МАХМЕТОВА

Narzankul Musaevna

Dr. Sc. Techn., Professor
(Kazakh Academy of Transport
and Communications named
after M. Tynyshpaev)



КВАШНИН

Михаил Яковлевич

кандидат технических наук, доцент
(Казахская академия транспорта
и коммуникаций им. М. Тынышпаева)

KVASHNIN

Mikhail Yakovlevich

Candidate of Engineering Sciences,
Assoc. Prof.
(Kazakh Academy of Transport
and Communications named
after M. Tynyshpaev)



КВАШНИН

Николай Михайлович

кандидат технических наук
(Казахская академия транспорта
и коммуникаций им. М. Тынышпаева)

KVASHNIN

Nikolay Mikhailovich

Candidate of Engineering Sciences
(Kazakh Academy of Transport
and Communications named
after M. Tynyshpaev)

Исследование свободных колебаний элементов верхнего строения пути со скреплением типа КПП-5

Н.М. Махметова, М.Я. Квашнин, Н.М. Квашнин

Проанализированы колебания элементов верхнего строения от ударного импульса. Показано, что по характеру виброграмм колебаний элементов верхнего строения пути можно судить о способности используемого типа скрепления гасить высокочастотные вибрации. Доказано, что на основании статистического анализа экспериментальных данных можно делать аналитические выводы о характере колебаний каждого исследуемого элемента верхнего строения пути.

Ключевые слова: верхнее строение пути, скрепление, колебания, виброграмма.

Investigation of free vibrations of permanent way elements with KPP-5 type straple

N.M. Makhmetova, M.Ya. Kvashnin, N.M. Kvashnin

The vibrations of the permanent way elements from the shock pulse have been analyzed. It has been shown that the ability of the applied type of straple to damp high-frequency vibrations could be judged on the nature of the permanent way elements oscillation vibrogram. It has been proved that the analytical conclusions on the nature of vibrations of each tested permanent way element could be made on the basis of statistical analysis of the experimental data.

Keywords: permanent way, straple, vibrations, vibrogram.

Априори известно, что колебания, возникающие в элементах верхнего строения пути при прохождении поездной нагрузки, представляют собой группу периодических затухающих импульсов [1—5]. В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований свободных колебаний в элементах верхнего строения пути со скреплением типа КПП-5 от ударного импульса. Энергетические аспекты ударного возбуждения изгибных колебаний в многослойных упругих конструкциях подробно изложены в работах [6—7].

Исследования выполнялись на полигоне фирмы ТОО «Магнетик» с использованием мобильного виброизмерительного комплекса. Комплекс состоит из датчиков виброскорости (велосиметров) МВ-25Д-В, которые преобразуют воздействующие на них механические вибрации в электрический сигнал. Преобразование аналогового сигнала в цифровую форму осуществляется в электронном блоке АЦП (фирмы «Л-КАРД», модель Е-14—440). Сбор цифровых данных с АЦП и общее управление измерениями реализуется при помощи специального

программного обеспечения персонального компьютера типа Notebook.

Для возбуждения колебаний в элементах верхнего строения пути, использовались следующие варианты:

а) возбуждение колебаний производилось ударом резинового молотка массой около 2 кг по центру рельса между шпалами;

б) возбуждение колебаний производилось ударом резинового молотка массой около 2 кг по рельсу над шпалой.

Для измерения колебаний элементов верхнего строения пути датчики устанавливались в шести различных точках: на наружной ветви упругой клеммы с внешней и внутренней стороны рельса, на середине и конце железобетонной шпалы, на балластное основание у конца шпалы, на балластное основание с внутренней стороны рельсошпальной решетки. Расположение датчиков на конструкции верхнего строения пути со скреплением типа КПП-5 показано на рис. 1.

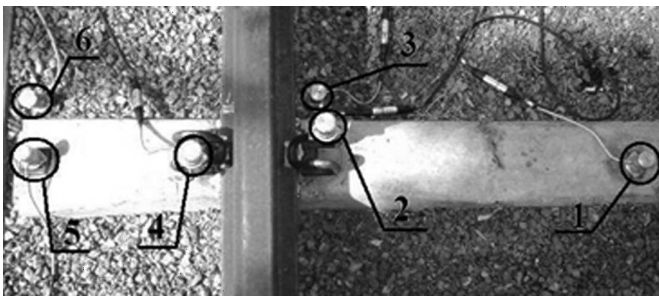


Рис. 1. Схема расположения датчиков на элементах верхнего строения пути со скреплением типа КПП-5:

- 1 — на середине железобетонной шпалы;
- 2 — на наружной ветви упругой клеммы с внутренней стороны рельса; 3 — на балластном основании с внутренней стороны рельсошпальной решетки; 4 — на наружной ветви упругой клеммы с внешней стороны рельса; 5 — на конце железобетонной шпалы; 6 — на балластном основании у конца шпалы

Возбуждение колебаний по каждому варианту выполнялось от 6 до 12 раз. Длительность записи τ и частота дискретизации сигнала на канал f_d , при проведении исследований составляли: $\tau = 1,024$ с, $f_d = 1,6$ кГц. Построение спектров (амплитудно-частотных характеристик) для каждой полученной реализации осуществлялось в среде MATHCAD с использованием программы быстрого преобразования Фурье.

На приведенных ниже рисунках амплитудно-временных зависимостей отрицательные значения соответствуют отклонению точки элемента от положения равновесия вниз, положительные — вверх.

В дальнейшем результаты измерений анализировались в лабораторных условиях, в частности проводился статистический анализ характеристик полученных виброграмм и их спектров с целью изучения степени идентичности проведенных измерений при каждом варианте возбуждения колебаний. Статистический анализ экспериментальных данных позволил выявить высокую степень сходимости результатов измерений при каждом используемом варианте возбуждения колебаний. На основании статистического анализа экспериментальных данных можно делать аналитические выводы о характере колебаний каждого исследуемого элемента верхнего строения пути.

Анализ виброграмм и их графиков спектральной плотности дисперсии, полученных для различных элементов верхнего строения пути со скреплением типа КПП-5, дал следующие результаты.

Процесс колебаний, регистрируемых на наружной части упругой клеммы с внешней и внутренней стороны рельса, для скрепления типа КПП-5 происходит в противофазе (рис. 2, а и 3, а). На полученных спектрограммах хорошо прослеживаются частоты в диапазоне 1...1 400 Гц с основным спектральным максимумом на частоте 27 Гц (рис. 2, б и 3, б).

Колебания на середине и конце железобетонной шпалы для исследуемого скрепления типа КПП-5 отличаются по виду и характеру (рис. 4, а и 5, а). Максимальные амплитудные отклонения на первой моде для всех равнозначных реализаций на конце шпалы в 5,5 раз больше чем на середине шпалы (рис. 4, б и 5, б). В спектрах виброграмм, полученных на конце шпалы, прослеживаются два основных спектральных выброса на частотах 27 и 45 Гц (см. рис. 4, б).

Форма импульса, зарегистрированного на середине железобетонной шпалы, близка к классической экспоненциально затухающей синусоиде. В спектрах виброграмм, полученных на середине шпалы, регистрируются пять спектральных максимумов на частотах 29, 45, 152, 240, 529 Гц (см. рис. 5, б).

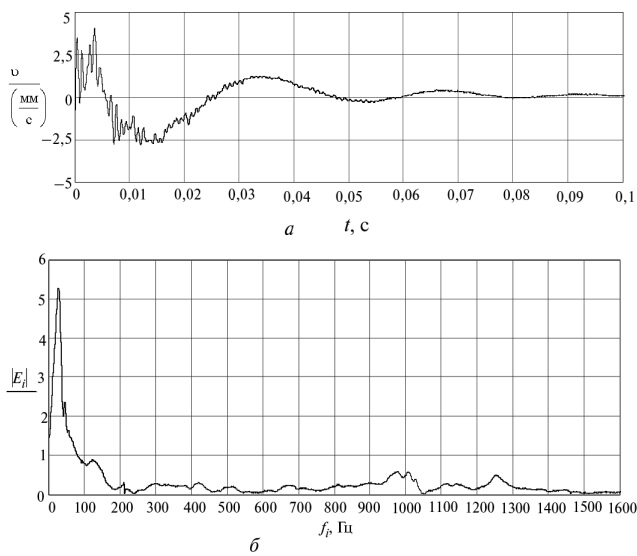


Рис. 2. Виброграмма (а) и спектрограмма (б) отклика на ударное воздействие на наружной ветви упругой клеммы с внешней стороны рельса (основной спектральный максимум на частоте 27 Гц)

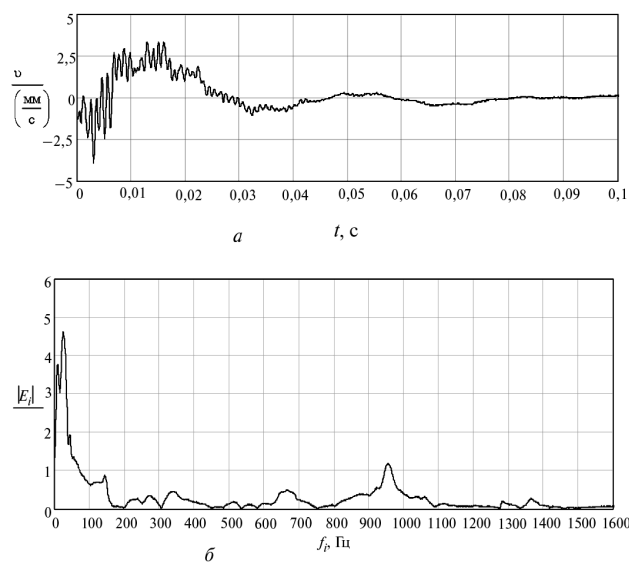


Рис. 3. Виброграмма (а) и спектрограмма (б) отклика на ударное воздействие на наружной ветви упругой клеммы с внутренней стороны рельса (основной спектральный максимум на частоте 27 Гц)

Виброграммы колебаний на балластном основании у конца шпалы и с внутренней стороны рельсошпальной решетки похожи по внешнему виду (рис. 6, а и 7, а). В спектрах виброграмм регистрируется один основной спектральный выброс на частоте 27 Гц. Максимальные амплитудные отклонения на основной моде для всех равнозначных реализаций на балластном основании у конца шпалы в 1,3 раз больше, чем на балластном основании с внут-

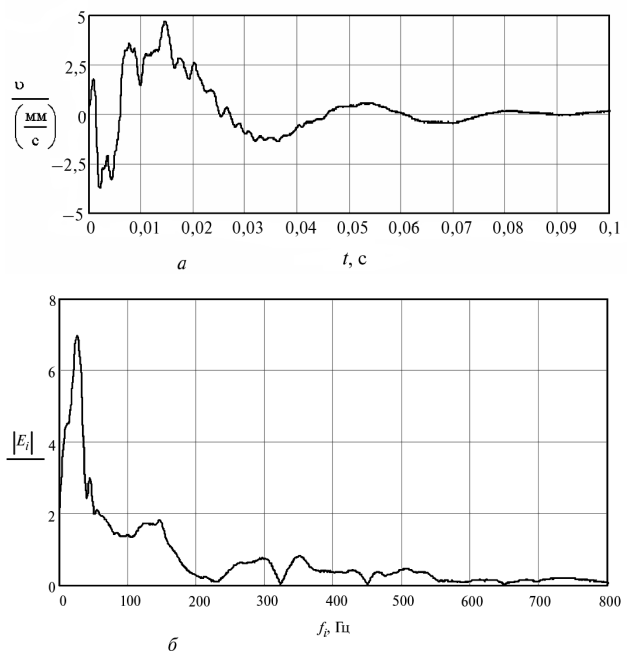


Рис. 4. Виброграмма (а) и спектрограмма (б) отклика на ударное воздействие на конце шпалы (основной спектральный максимум на частоте 27 Гц, второй максимум на частоте 45 Гц)

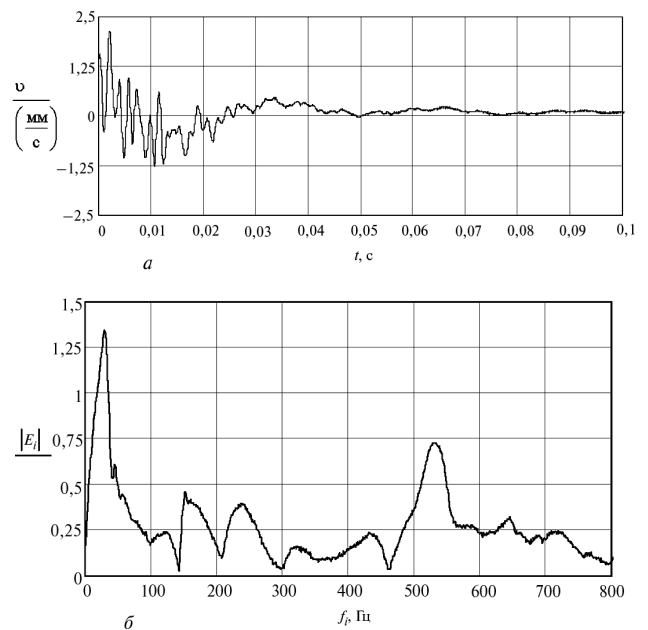


Рис. 5. Виброграмма (а) и спектрограмма (б) отклика на ударное воздействие на середине шпалы (основной спектральный максимум на частоте 29 Гц, второй на частоте 45 Гц, третий на частоте 152 Гц, четвертый на частоте 240 Гц, пятый на частоте 529 Гц)

ренней стороны рельсошпальной решетки (рис. 6, б и 7, б).

Виброграммы колебаний на балластном основании у конца шпалы и с внутренней стороны рельсошпальной решетки похожи по внеш-

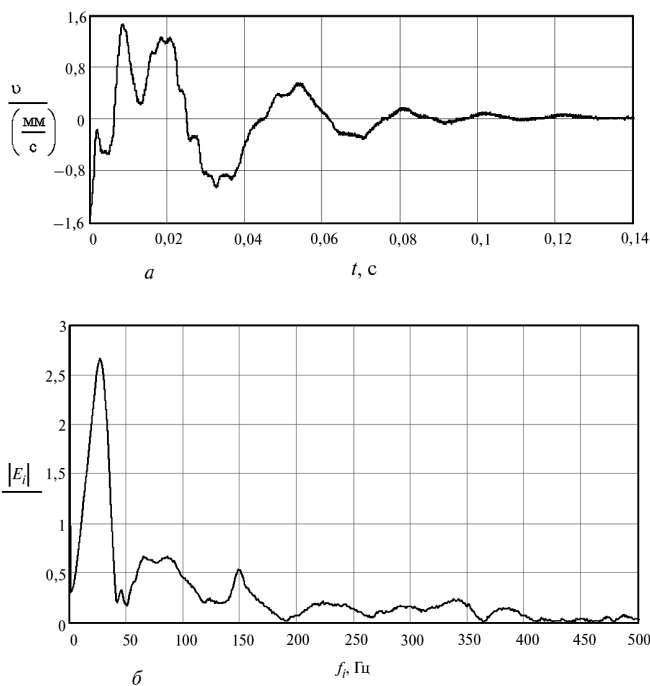


Рис. 6. Виброграмма (а) и спектрограмма (б) отклика на ударное воздействие на балласте у конца шпалы (основной спектральный максимум на частоте 27 Гц)

нему виду (см. рис. 6, а и 7, а). В спектрах виброграмм регистрируется один основной спектральный выброс на частоте 27 Гц. Максимальные амплитудные отклонения на основной моде для всех равнозначных реализаций на балластном основании у конца шпалы в 1,3 раза больше, чем на балластном основании с внутренней стороны рельсошпальной решетки (см. рис. 6, б и 7, б).

На основании полученных результатов исследований колебаний элементов верхнего строения пути со скреплением типа КПП-5 можно сделать следующие выводы.

1. Колебания верхнего строения пути от ударного импульса имеют достаточно разнообразный вид и сложный характер. По характеру виброграмм колебаний элементов верхнего строения пути можно судить о способности используемого типа скрепления гасить высокочастотные вибрации.

2. Влияние той или иной гармонической составляющей на характер виброграмм можно оценить путем построения графиков их спектральной плотности дисперсии.

3. Работу элементов верхнего строения пути с различными типами скреплений можно

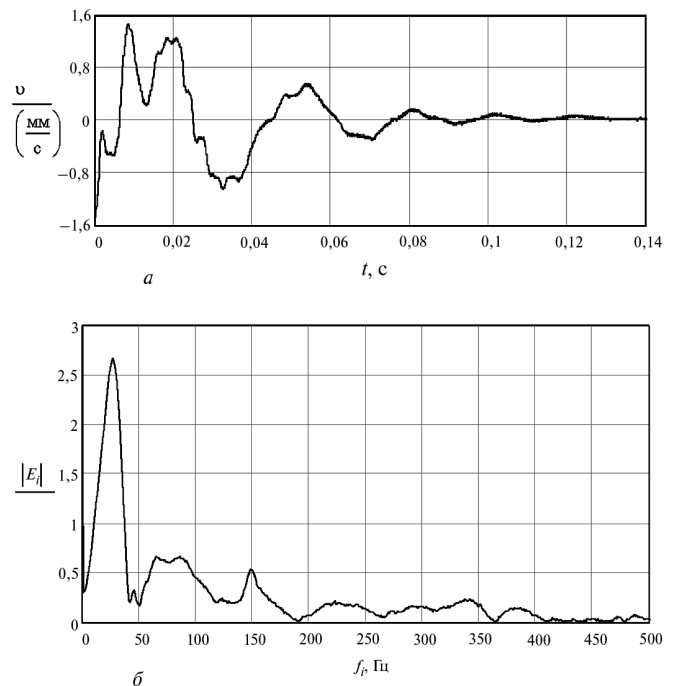


Рис. 7. Виброграмма (а) и спектрограмма (б) отклика на ударное воздействие на балласте с внутренней стороны рельсошпальной решетки (основной спектральный максимум на частоте 27 Гц)

оценить виброимпульсным (ударным) методом по полученным виброграммам и их спектрам.

Литература

1. Hunt H.E.M. Measures for reducing ground vibration generated by trains in tunnels // *Noise and Vibration from High-speed Trains*; ed V.V. Krylov, Telford, 2001, Chapter 14. P. 423–430.
2. Jaquet T., Hueffmann G. Ausbildung eines tieffrequenten Masse-Feder-Systems mittels Stahlfederelementen bei U- und Vollbahnen als Schutz gegen // *Erschuetterungen und Koerperschalleinwirkungen*, VDI Berichte. 1997. N. 1345. P. 143–160.
3. Влияние жесткости и неровностей пути на деформации, вибрации и силы взаимодействия его элементов // *Тр. ЦНИИ МПС*. Вып. 370. М.: Транспорт, 1969. С. 4–5.
4. Исследование взаимодействия пути и подвижного состава // *Тр. ДИИТ*. Вып. 148. Днепропетровск, 1974. С. 22–31.
5. Исаенко Э.П., Финк В.К., Квашинин М.Я. Результаты определений амплитудно-частотных характеристик в элементах железнодорожного пути // *Материалы международной НПК «Транспорт Евразии: взгляд в двадцать первый век»*, КазАТК. Т. IV. Алматы, 2008. С. 114–119.
6. Рабинович И.М., Сеницын А.П., Лужин А.В., Теренин Б.М. Расчет сооружений на импульсное воздействие. М.: Стройиздат, 1970. 73 с.
7. Махметова Н.М., Квашинин М.Я., Абиев Б.А., Квашинин Н.М. Энергетические аспекты ударного возбуждения изгибных колебаний в многослойных упругих пластинах // *Вестник КазАТК*. 2009. № 3 (58). С. 147–152.

References

1. Hunt H.E.M. *Measures for reducing ground vibration generated by trains in tunnels. Noise and Vibration from High-speed Trains*. Telford. 2001, Chapter 14, pp. 423–430.

2. Jaquet T., Hueffmann G. *Ausbildung eines tieffrequenten Masse-Feder-Systems mittels Stahlfederelementen bei U- und Vollbahnen als Schutz gegen Erschuetterungen und Koerperschalleinwirkungen*, VDI Berichte. 1997, no. 1345, pp. 143–160.

3. Vliianie zhestkosti i nerovnosti puti na deformatsii, vibratsii i sily vzaimodeistviia ego elementov [Stiffening effect and irregularities in the way the deformation, vibration, and the force of interaction of its elements]. *Trudy TsNII MPS* [Proceedings CRI MPS]. Issue 370, Moscow, Transport publ., 1969, pp. 4–5.

4. Issledovanie vzaimodeistviia puti i podvizhnogo sostava [Study of interaction of track and rolling stock]. *Trudy Dnepropetrovskogo Instituta Inzhenerov Transporta* [Proceedings of the Dnepropetrovsk Institute of Transportation Engineers]. Issue 148, Dnepropetrovsk, 1974, pp. 22–31.

5. Isaenko E.P., Fink V.K., Kvashnin M.Ia. Rezul'taty opredelenii amplitudno-chastotnykh kharakteristik v elementakh zheleznodorozhnogo puti [Results of the determinations of frequency response in the elements of railway]. *Materialy mezhdunarodnoi NPK «Transport Evrazii: vzgliad v dvadtsat' pervyi*

vek» [Proceedings of the international SPC «Eurasian Transport: a look into the twenty-first century»]. KazATK publ., vol. IV, Almaty, 2008, pp. 114–119.

6. Rabinovich I.M., Sinitsyn A.P., Luzhin A.V., Terenin B.M. *Raschet sooruzhenii na impul'snoe vozdeistvie* [Calculation of structures to impulse action]. Moscow, Stroizdat publ., 1970. 73 p.

7. Makhmetova N.M., Kvashnin M.Ia., Abiev B.A., Kvashnin N.M. Energeticheskie aspekty udarnogo vzbuzhdeniia izgibnykh kolebanii v mnogoslownykh uprugikh plastinakh [Energy aspects of the impact excitation of bending vibrations in layered elastic plates]. *Vestnik KazATK*, no. 3 (58), 2009, pp. 147–152.

Статья поступила в редакцию 29.10.2012

Информация об авторах

МАХМЕТОВА Нарзанкуль Мусаевна (Алматы) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Конструкции транспортных сооружений». Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (050012, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко, 97, e-mail: n.mahmetova@kazatk.kz).

КВАШНИН Михаил Яковлевич (Алматы) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкции транспортных сооружений». Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (050012, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко, 97, e-mail: kvashnin_mj55@mail.ru).

КВАШНИН Николай Михайлович (Алматы) — кандидат технических наук кафедры «Конструкция транспортных сооружений». Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (050012, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко, 97, e-mail: smk87@mail.ru).

Information about the authors

МАХМЕТОВА Narzankul Musaevna (Almaty) — Dr. Sc. Techn., Professor, Head of Department of «Construction of Transport Facilities». Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev (Shevchenko Str. 97, 050012 Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: n.mahmetova@kazatk.kz).

KVASHNIN Mikhail Yakovlevich (Almaty) — Candidate of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of «Construction of Transport Facilities» Department. Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev (Shevchenko Str. 97, 050012 Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: kvashnin_mj55@mail.ru).

KVASHNIN Nikolay Mikhailovich (Almaty) — Candidate of Engineering Sciences «Construction of Transport Facilities» Department. Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev (Shevchenko Str. 97, 050012 Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: smk87@mail.ru).