

УДК 519.711.3: 539.3

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОХОДЯЩЕГО ПОДВИЖНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СОСТАВА

**А.Б. СУВОРОВ**

(Донской государственный технический университет),

**Т.В. СУВОРОВА, С.А. УСОШИН**

(Ростовский государственный университет путей сообщения)

*Описывается способ решения одной из задач вибродиагностики: определение интегральных параметров проходящего подвижного состава (момент времени прохождения контрольной точки железнодорожного пути, номер пути, тип локомотива, тип вагонов, скорость подвижного состава, количество вагонов).*

**Ключевые слова:** вибродиагностика, параметры проходящего подвижного состава.

**Введение.** Экспериментальными методами исследования и неразрушающего контроля сложных инженерных сооружений различного назначения являются методы вибрационной диагностики, которые стали широко применяться с развитием радиоэлектронных устройств и методологий анализа вибрации. Их практическая реализация сопровождалась низкой эффективностью аналоговых измерительных систем и резко ограниченными возможностями обработки данных эксперимента. Переход на цифровые измерительные системы с использованием компьютерных технологий регистрации измерений и обработки данных сделал доступным проведение сложных видов анализа таких систем не только учеными, но и инженерами-эксплуатационниками.

**Использование метода вибродиагностики на железнодорожном транспорте.** Проблемы мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния современных железнодорожных магистралей и придорожных инженерных сооружений являются крайне сложными и требуют развития как теоретических методов, так и натурных экспериментальных исследований, выработки критериев, характеризующих рабочее состояние, зарождение и развитие дефектов, предшествующих нарушению нормальной работоспособности. Каждая конкретная проблема является многоплановой, требующей для эффективного решения использования достижений нескольких научных направлений, решения целого класса модельных задач теории упругости, вычислительной математики, математического моделирования вибрационных процессов, инженерной сейсмологии и др. [1]. При этом железнодорожная магистраль моделируется системой «Верхнее строение пути – земляное полотно – прилегающее многослойное основание», на конструктивно значимые точки которой прикладываются различные виды динамических воздействий: ударное, моногармоническое, поездная нагрузка. Современным инструментом вибродиагностики такой системы является компьютеризированный виброизмерительный комплекс со специализированным программным обеспечением для регистрации, обработки и визуализации данных (рис. 1).

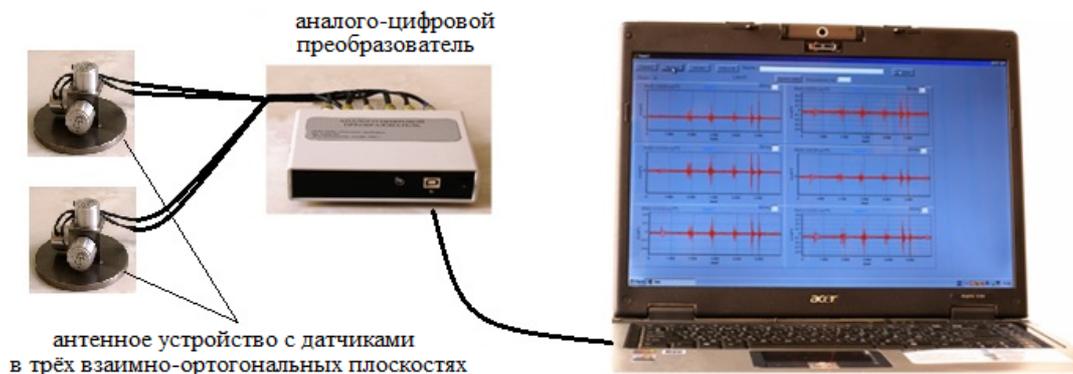


Рис. 1. Компьютеризированный виброизмерительный комплекс

В состав комплекса, как правило, включают различные механические системы для нормированных динамических нагружений исследуемой системы. К оборудованию комплекса предъявляются самые жесткие требования, например, полоса частот в диапазоне 0,1–500 Гц, чувствительность не менее  $200 \text{ мВ} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^2$ , динамический диапазон входных сигналов не менее 90 дБ. В качестве датчиков в большинстве случаев используются пьезоакселерометры. Этот выбор обусловлен линейной зависимостью измеряемых значений ускорений волнового поля, возбуждаемого в системе, значению величины силового воздействия (удар, вибрация, природные и техногенные волны).

В таких датчиках электрический заряд на выходе пропорционален действующим на датчик возмущениям, а основными потребительскими характеристиками являются рабочий диапазон частот, коэффициент преобразования, динамический диапазон входных сигналов. Аппаратно-программное обеспечение вычислительной системы должно обеспечивать расширенные возможности анализа полученных данных – амплитудный, спектральный, корреляционный, статистический, вейвлет-анализ [2, 3]. При этом особое внимание уделяется вопросам, связанным с корректным преобразованием физических изменений волнового поля в цифровой сигнал, сохраняемый на жестком диске ПК.

Замеры производят в конструктивно значимых точках [3, 4], при этом в качестве диагностической информации, как правило, используются следующие параметры:

- частоты собственных форм колебаний объекта и его структурных компонентов;
- характерные значения амплитудно-временных характеристик откликов на разные виды динамических воздействий;
- характерные значения спектров относительных амплитуд и спектров мощности откликов;
- характерные значения автокорреляционных характеристик откликов;
- передаточные функции;
- изменение динамического коэффициента.

В настоящей статье предлагается решение одной из задач практического использования вибродиагностики – определение интегральных параметров проходящего подвижного состава. Метод решения этой задачи защищен патентом авторов [5]. Под интегральными параметрами проходящего подвижного состава понимаются моменты времени начала и конца прохождения фиксированной контрольной точки железнодорожного пути подвижным составом, путь (номер пути) прохождения подвижного состава, тип подвижного состава (товарный, пассажирский, дрезинотяговый, моторвагонный), тип локомотива, тип вагонов, скорость подвижного состава, количество вагонов.

При движении железнодорожного состава динамические усилия, вызываемые прохождением каждой колесной тележкой подвижного состава, через элементы рельсошпальной решетки передаются балластной призме и распространяются в ее теле в виде перемещений, образующих волновое поле. Основные характеристики распространения волновых полей в гомогенных грунтах практически совпадают с законами распространения колебаний в вязкоупругих, гетерогенных средах. При этом каждая шпала железнодорожного пути передает основанию периодические колебания, закон изменения которых соответствует временному закону приложения нагрузки. Как показывает аналитико-численный анализ модельной задачи [1], возбуждаемые волновые поля несут в себе информацию, с одной стороны, об интегральных параметрах проходящего подвижного состава, а с другой, о параметрах балластной призмы и подстилающей грунтовой среды. Теоретические результаты подтверждаются натурными экспериментами. В ближней зоне, зоне балластной призмы, наиболее полно проявляются сигналы отклика, характеризующие параметры проходящего подвижного состава. Пьезоакселерометры, используемые в качестве датчиков волновых полей, устанавливаются на поверхности тела балластной призмы с обеих сторон пути посредством специальных конструкций – антенных устройств (рис. 2).

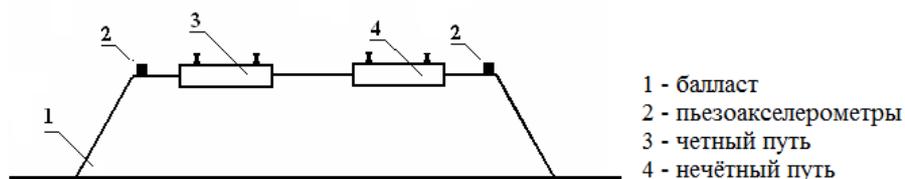


Рис. 2. Схема расположения пьезоакселерометров

Назначение антенных устройств состоит в амплитудно-частотном согласовании конструкции датчика с телом балластной призмы, тем самым обеспечивается корректность преобразования физических изменений во времени волнового поля в точке замера в цифровой сигнал. Определение способа установки антенных устройств и оптимального положения относительно рельса пути производилось с учетом следующих факторов. С одной стороны, балласт является низкочастотным фильтром, и уменьшение высокочастотных составляющих в спектре сигнала ухудшает точность расчета временных соотношений анализируемого сигнала, а с другой стороны, в непосредственной близости от рельса возможны нелинейные процессы, искажающие полезные сигналы. Таким образом, подбор оптимального расстояния установки антенного устройства от ближайшего рельса производится на основе эксперимента и зависит от чувствительности пьезоакселерометров и конструкции антенного устройства.

Запуск программы регистрации и расчета временных соотношений может осуществляться оператором либо автоматически при приближении подвижного состава с учетом временной синхронизации всех процессов. Результаты обработки в виде интегральных параметров подвижного состава могут передаваться в режиме реального времени в автоматизированную систему диспетчерского центра и сохраняться в базе данных проходящих данную точку пути составов. На рис. 3 представлена амплитудно-временная характеристика (АВХ) отклика вертикальной компоненты виброускорений волнового поля отклика при проходе контрольной точки пассажирским поездом. Для иллюстрации способа определения интегральных параметров проходящего подвижного состава на рис. 4 представлена АВХ вырезки локомотива и первых двух вагонов поезда и соответствующие временные соотношения, сформированные на основе спектров силовых воздействий.

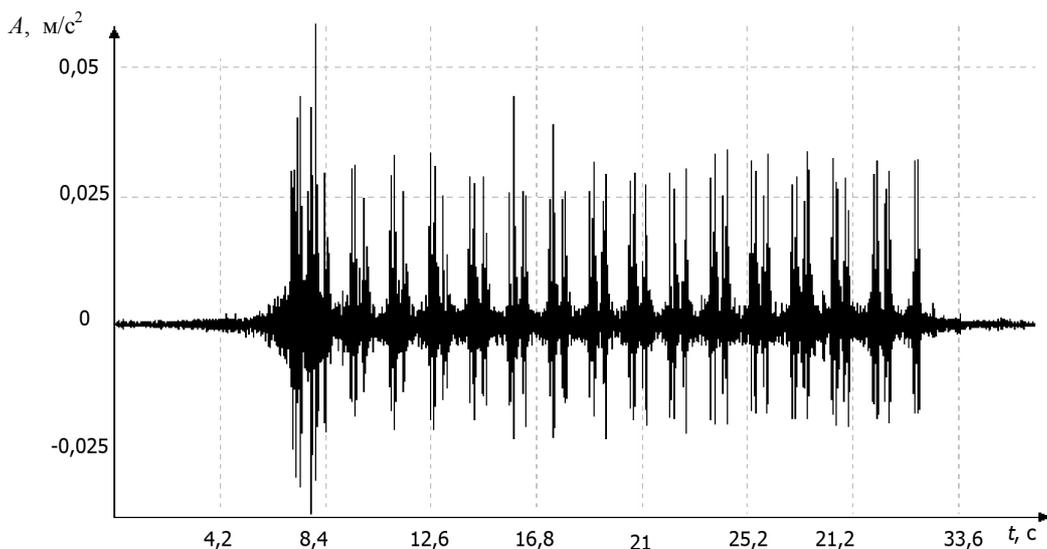


Рис. 3. АВХ отклика вертикальной компоненты виброускорений при проходе железнодорожного состава

Предлагаемый для достижения технической результат: получение временных соотношений и спектров силовых воздействий, определяющих интегральные параметры проходящего по железнодорожному пути подвижного состава, реализуется в несколько этапов. Первый этап обработки АВХ, полученных временных реализаций прохода подвижного состава контрольной точки, заключается в формировании последовательности значений временных отрезков, которые с высокой точностью определяют соотношения расстояний между осями колесных пар локомотивных и вагонных тележек проходящего поезда. Второй этап – в последовательном сравнении полученных значений межосевых расстояний с межосевыми расстояниями, заложенными в базу данных вычислительной системы, которые соответствуют определенным типам вагонов и локомотивов. Очевидно, что предварительно необходимо сформировать базу межосевых расстоя-

ний колесных тележек для разных типов вагонов и локомотивов. Результатом последовательного сравнения характерных временных соотношений каждой единицы поездного состава является идентификация конкретного типа локомотива и конкретного типа каждого вагона подвижного состава. Заданный порядок сравнения полученных межосевых расстояний каждой единицы поездного состава определяется программным алгоритмом обработки.

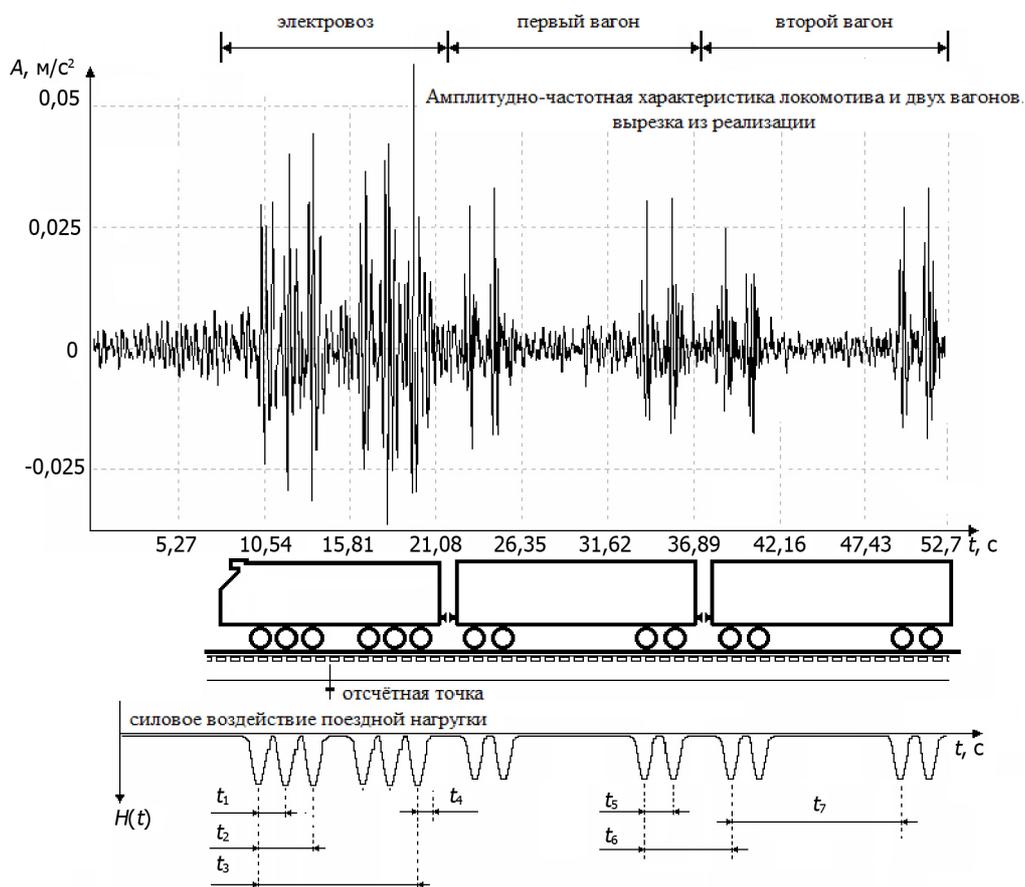


Рис. 4. Принцип формирования временных отрезков между осями колесных пар локомотивных и вагонных тележек

Для улучшения точности измерения значений временных отрезков и соответственно точности идентификации каждой единицы подвижного состава пьезоакселерометры устанавливаются на антенном устройстве в трех взаимно-ортогональных плоскостях, а результаты обработки впоследствии усредняются. Для исключения наложения сигналов и резкого ухудшения результатов при одновременном проходе составов по обоим путям устанавливают две контрольные точки на расстоянии, исключающем такой проход поездов по встречным направлениям. Значительное расширение возможностей по идентификации каждой единицы подвижного состава обеспечивается за счет обработки нормированных частотных спектров каждой конкретной единицы проходящего подвижного состава и последующего сравнения по заданному алгоритму с базой данных нормированных частотных спектров этих же единиц. При этом дополнительно обеспечивается возможность автоматической идентификации конкретных номеров вагонов и локомотива, а также оценка загрузки каждого вагона.

**Заключение.** Таким образом, на основе предложенного авторами метода возможно создание полноценной информационной автоматической системы контроля каждого поездного состава по маршруту следования.

### Библиографический список

1. Колесников В.И. Моделирование динамического поведения системы «Верхнее строение железнодорожного пути – слоистая грунтовая среда» / В.И. Колесников, Т.В. Суворова. – М.: ВИНТИ РАН, 2003. – 232 с.
2. Марпл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С.Л. Марпл. – М., 1990. – 584 с.
3. Коншин Г.Г. Вибросейсмическая диагностика эксплуатируемого земляного полотна / Г.Г. Коншин. – М.: Транспорт, 1994. – 216 с.
4. Суворов А. Б. Исследование волновых полей, генерируемых в грунте движением состава по железнодорожной магистрали / А.Б. Суворов, Т.В. Суворова // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Техн. науки. – 2001. – № 4. – С. 70–75.
5. Пат. 2380260 Российская Федерация, МПК<sup>11</sup> 2 380 260 С2. Способ контроля интегральных параметров проходящего по железнодорожному пути подвижного состава / А.Б. Суворов [и др.]; зарег. 2.7.2010. – УДК 519.711.3:539.3.
6. Бурау Н.И. Анализ современных методов обработки акустических сигналов для использования в задачах виброакустической диагностики / Н.И. Бурау, П.И. Марчук, А.Н. Тяпченко // Акустичний вісник. – 2001. – № 4. – С. 3–10.

Материал поступил в редакцию 02.02.11.

### References

1. Kolesnikov V.I. Modelirovanie dinamicheskogo povedeniya sistemy «Verhnee stroenie jeleznodorojnogo puti – sloistaya gruntovaya sreda» / V.I. Kolesnikov, T.V. Suvorova. – M.: VINITI RAN, 2003. – 232 s. – In Russian.
2. Marpl S.L. Cifrovoi spektral'nyi analiz i ego prilozheniya / S.L. Marpl. – M., 1990. – 584 s. – In Russian.
3. Konshin G.G. Vibroseismicheskaya diagnostika ekspluatiruemogo zemlyanogo polotna / G.G. Konshin. – M.: Transport, 1994. – 216 s. – In Russian.
4. Suvorov A.B. Issledovanie volnovykh polei, generiruemykh v grunte dvizheniem sostava po jeleznodorojnoj magistrali / A.B. Suvorov, T.V. Suvorova // Izv. vuzov. Sev.-Kav. region. Tehn. nauki. – 2001. – № 4. – S. 70–75. – In Russian.
5. Pat. 2380260 Rossiiskaya Federaciya, MPK<sup>11</sup> 2 380 260 S2. Sposob kontrolya integral'nykh parametrov prohodyaschego po jeleznodorojnomu puti podvijnogo sostava / A.B. Suvorov [i dr.]; zareg. 2.7.2010. – UDK 519.711.3:539.3. – In Russian.
6. Burau N.I. Analiz sovremennykh metodov obrabotki akusticheskikh signalov dlya ispol'zovaniya v zadachah vibroakusticheskoi diagnostiki / N.I. Burau, P.I. Marchuk, A.N. Tyapchenko // Akustychnyi visnyk. – 2001. – № 4. – S. 3–10. – In Russian.

## PRACTICAL USE OF VIBRATION DIAGNOSTICS METHODS FOR DETERMINATION OF ROLLING STOCK INTEGRATED PARAMETERS

### A.B. SUVOROV

(Don State Technical University),

### T.V. SUVOROVA, S.A. USOSHIN

(Rostov State Transport University)

*The procedure of one of the vibration diagnostics problems is described: determination of the integrated parameters of the moving train (time of passing the railway checkpoint, rail number, type of locomotive, type of cars, speed of the rolling stock, number of cars).*

**Keywords:** vibration diagnostics, parameters of passing rolling stock.