



Контроль динамического воздействия экипажа на путь



Александр ЗАМУХОВСКИЙ
Alexander V. ZAMUKHOVSKIY

Николай КВАШНИН
Nikolay M. KVASHNIN



Айгуль ЖАНГАБЫЛОВА
Aigul M. ZHANGABYLOVA

Замуховский Александр Владимирович — кандидат технических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.

Квашнин Николай Михайлович — кандидат технических наук, начальник отдела технического обследования зданий и сооружений ООО «Эксперт», Москва, Россия.

Жангабылова Айгуль Мамытовна — аспирант МИИТ, Москва, Россия.

Риски природного и техногенного характера заставляют постоянно следить за состоянием рельсового и земляного полотна, условиями эксплуатации дорог. При этом безопасность находится в зависимости от средств и способов технического контроля существующих нагрузок и физических влияний. Авторами предлагается экспериментальный метод оценки динамического воздействия экипажа на путь, основанный на спектральном анализе откликов элементов конструкции железнодорожного пути на ударный импульс. Используемый способ предполагает мониторинговое сопровождение движения поездов с применением цифровых измерительных комплексов — вибродатчиков, которые преобразуют воздействующие на них механические вибрации в электрический сигнал.

Ключевые слова: железная дорога, безопасность движения, рельсы, земляное полотно, экипаж, воздействие на путь, факторы риска, оценка, мониторинг, вибродатчики.

От состояния пути зависят непрерывность и безопасность движения поездов, а также эффективное использование технических средств железных дорог. В условиях постоянного воздействия природных и техногенных факторов путь воспринимает большие нагрузки от проходящих поездов. При этом все его элементы по условиям надежности, прочности и устойчивости должны обеспечивать безопасное и плавное движение состава.

Характер воздействий на путь определяется влиянием различных факторов, в том числе и уровнем вибраций, возникающих при движении поездов. Причинами их появления являются:

— *Движущиеся нагрузки (квазистатическое возбуждение)*, то есть перемещающийся вместе с движением поезда прогиб пути и опорной системы.

Если зафиксировать точку на рельсовом пути, то действующие в ней переменные нагрузки вызывают появление изгибных волн как в самих рельсах, так и прилегающем грунте. Механизм этого возбуждения еще неизвестен в деталях (в том числе влияние граничных условий, неоднородностей пути и грунта на распространение

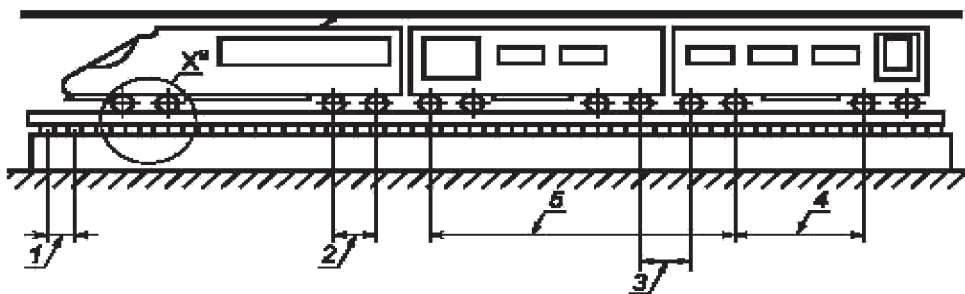


Рис. 1. Характерные параметры источника вибрации:

1 – расстояние между опорными элементами пути; 2 – расстояние между колесными парами тележки; 3 – расстояние между соседними тележками соседних вагонов; 4 – расстояние между тележками одного вагона; 5 – междувагонное расстояние.

волн). Когда высокоскоростной состав движется по пути, уложенному на мягкий грунт, то скорость его движения может превышать скорость распространения поверхностной (рэлеевской) волны в грунте. Это порождает вибрации высокого уровня подобно тому, как полет сверхзвукового самолета сопровождается звуковым ударом. Для решения проблемы балластный слой рельсового пути устанавливают на уплотненном грунте или бетонных плитах со свайным фундаментом, который достигает более плотных слоев грунта. Если рельсовый путь проложен в тоннеле, его обделка и обратный свод обеспечивают жесткое основание, которое уменьшает уровень вибрации, распространяющейся в окружающий грунт.

– *Неровности поверхности катания колес и рельсов.*

Случайные неровности в зоне контакта рельса с колесом вызывают возбуждение всей системы «подвижной состав – рельсовый путь». Они появляются прежде всего в процессе изготовления, поэтому при приемке в эксплуатацию состояние пути и колес должно быть подвергнуто контролю. Однако это не может защитить от появления неровностей в процессе эксплуатации.

– *Параметрическое возбуждение.*

Когда рельсовая опора имеет дискретную структуру – шпалы, упругие опоры поверх бетонного основания (в отличие от заглубленных в бетон рельсов), то колесо при качении по рельсу «чувствует» изменение жесткости опоры. Переменная сила упругости создает колебания колеса и рельса на частоте, зависящей от скорости движения поезда и пространственной дис-

кретности опоры. Другая дискретность (и соответствующие ей частоты возбуждения) характеризуется расстояниями между осями колесных пар и тележками. Если возбуждаемые частоты совпадают с собственными частотами железнодорожного пути, то колебания пути и окружающего грунта могут быть весьма значительными. Частоту воздействия f_v , Гц, соответствующую n -му характерному расстоянию l_v , м (см. рис. 1), определяют через скорость движения поезда V , м/с по формуле:

$$f_v = \frac{V}{l_v}.$$

– *Дефекты колес (рельсов).*

Помимо неровностей на поверхности катания колес и рельсов могут наблюдаться более грубые дефекты, возникающие при эксплуатации транспортных средств и рельсового пути. Наиболее серьезные дефекты связаны с наличием ползунов на колесах и волнообразным износом на поверхности катания рельсов. Кроме того, для колес характерны овальность формы, дисбаланс и эксцентриситет. Со временем дефекты накапливаются, особенно если путь не обеспечен своевременным и должным техническим уходом.

– *Разрывы сплошности поверхности катания рельсов* (на стрелочных переводах, в стыках рельсов и т. д.), вызывающие появление ударов. Если длина стыкующихся или сварных рельсов равна расстоянию между тележками вагонов, уровень вибрации может существенно возрасти.

– *Подвеска подвижного состава.*

– *Случайные или периодические изменения твердости поверхности катания рельсов*, являющиеся следствием дефекта изго-





Рис. 2. Структурная схема комплексного мониторинга железнодорожного пути.

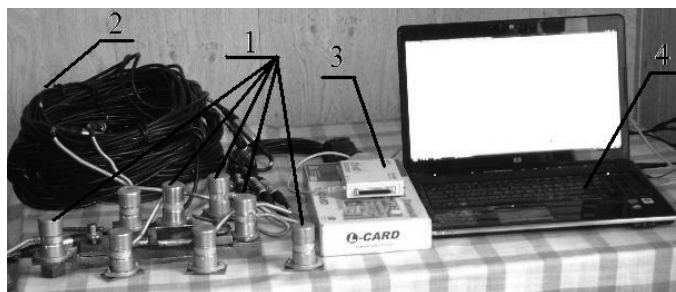


Рис. 3. Общий вид мобильного виброизмерительного комплекса:
1 – вибродатчики; 2 – соединительный кабель; 3 – многоканальный АЦП; 4 – портативный компьютер.

товления или (более вероятно) результатом старения рельсового пути.

– *Нагрузки в поперечном направлении*, в частности, при движении подвижного состава по кривому участку пути малого радиуса или при прохождении стрелочных переводов.

– *Изменение режима движения*. Ускорение или торможение подвижного состава сопровождается возникновением переменных сил и, соответственно, колебаний.

– *Внешние факторы*. Например, температура и влажность головки рельса влияют на ее износ и, следовательно, на появляющуюся в результате вибрацию.

Уровень вибрации, обусловленной перечисленными причинами, зависит от входных импедансов (сопротивления

среды, оказываемого распространению механических колебаний) головки рельса и обода колеса в области их контакта. Значение входного импеданса головки рельса определяется конструкцией верхнего строения пути, его основания, а также характеристиками прилегающего грунта.

Выходной импеданс колеса в основном зависит от неподрессоренной массы экипажа. Однако для жесткой подвески (например, вследствие особенностей конструкции демпфера и его поведения на высоких частотах) большое значение имеет также общая масса экипажа вместе с грузом.

Учитывая изложенное, повышение уровня безопасности функционирования железной дороги становится задачей, в ко-

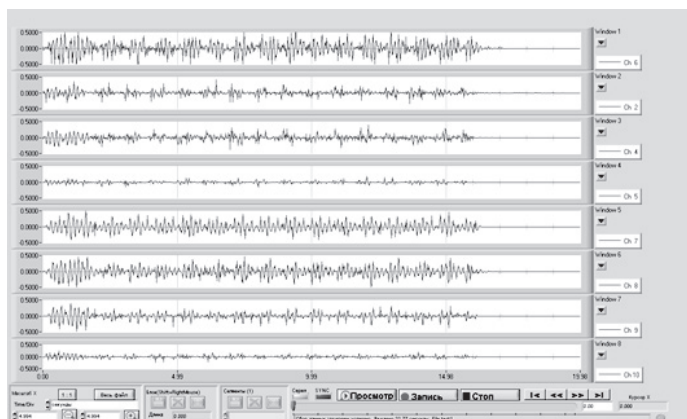


Рис. 4. Общий вид интерфейса программы «LGraph2», применяемой для сбора и хранения полученных данных.

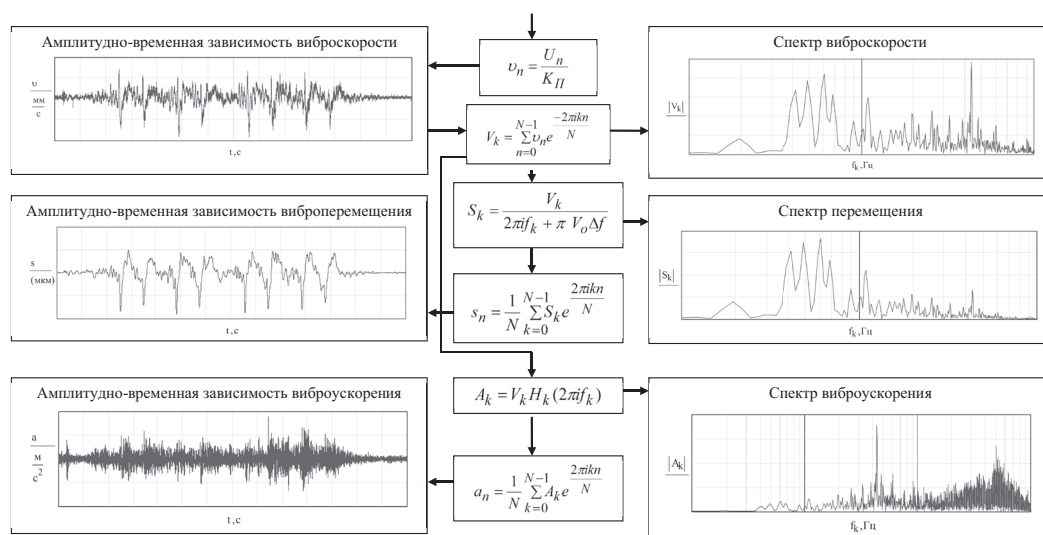


Рис. 5. Структурная схема программы обработки и визуализации данных мониторинга железнодорожного пути.

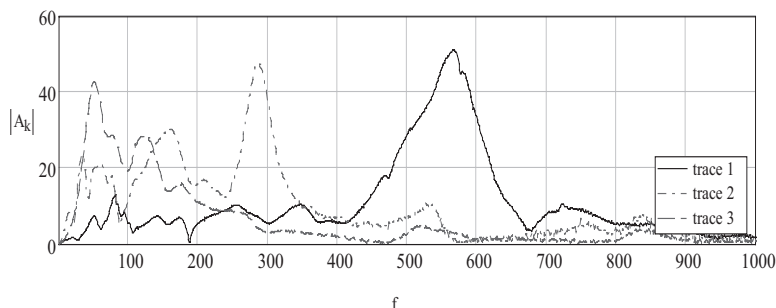


Рис. 6. Графики спектральной плотности виброускорения свободных колебаний середины железобетонной шпалы: trace 1 – при хорошем контакте шпалы со щебеночным основанием; trace 2 – при плохом контакте шпалы со щебеночным основанием; trace 3 – при отсутствии контактной связи шпалы со щебеночным основанием.

торой на первый план выходят прогрессивные методы диагностики и мониторинга, специальные инженерно-технические решения для оценки влияния уровня вибраций при движении поезда на текущее состояние элементов пути. Необходимость и актуальность внедрения инновационных систем и средств диагностики и монито-

ринга нашли отражение в программах развития железнодорожного пути до 2020 года Российской Федерации и Республики Казахстан.

На основании изучения динамических процессов, протекающих на стратегических объектах [1–5], в том числе в верхнем строении железнодорожного пути, предла-



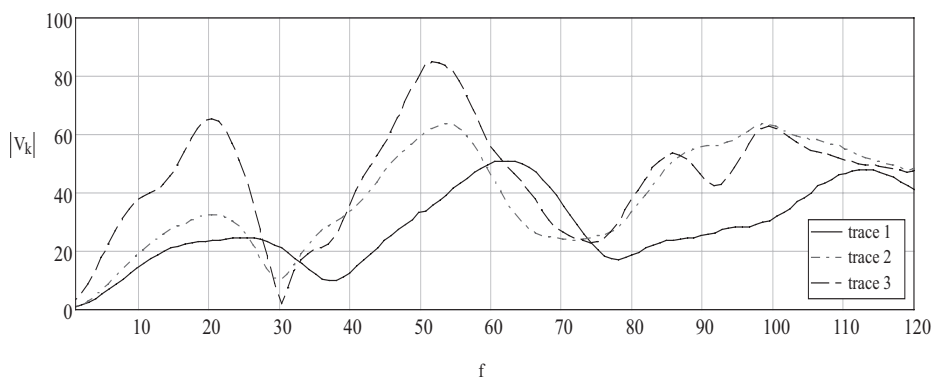


Рис. 7. Графики спектральной плотности виброскорости свободных колебаний для различных конструкций верхнего строения пути: trace 1 – со скреплением типа FOSSLOH; trace 2 – со скреплением типа KZF-07; trace 3 – со скреплением типа ЖБР-65ШД.

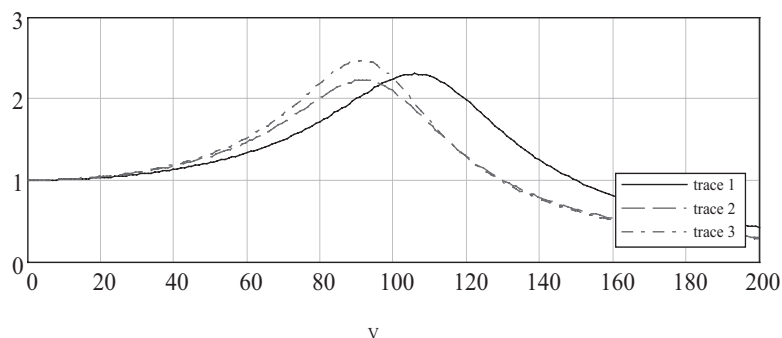


Рис. 8. Зависимость коэффициента динамичности от скорости движения подвижного состава для различных конструкций верхнего строения пути: trace 1 – со скреплением типа FOSSLOH; trace 2 – со скреплением типа KZF-07; trace 3 – со скреплением типа ЖБР-65ШД.

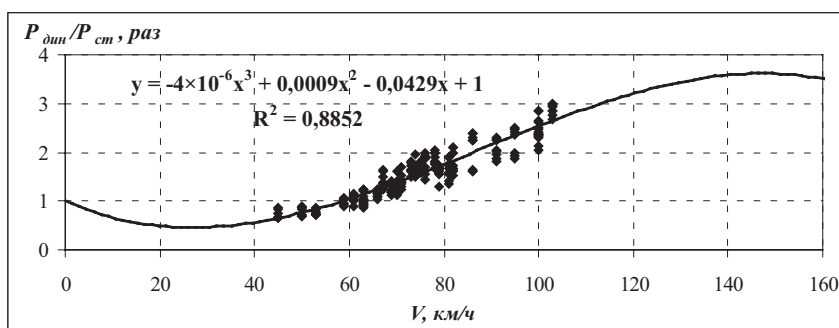


Рис. 9. Корреляционная зависимость отношения динамической силы на подкове рельса к статической силе от скорости движения электроваза ВЛ-80

гается комплексный мониторинг их состояния (см. рис. 2).

Осуществляется мониторинг с помощью мобильного виброизмерительного комплекса. Он состоит из вибродатчиков МВ-25Д-В, которые преобразуют воздействующие на них механические вибрации в электрический сигнал. Преобразование аналогового сигнала в цифровую форму совершается в электронном блоке аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Сбор

цифровых данных с АЦП и общее управление измерениями реализуется посредством специального программного обеспечения для персонального компьютера.

Общий вид мобильного виброизмерительного комплекса показан на рис. 3. Все измерительные средства, входящие в него аттестованы и откалиброваны.

К основным достоинствам мобильного виброизмерительного комплекса можно отнести:

— модульный принцип компоновки с учетом универсального питания;

— использование вибродатчиков с высокой чувствительностью в широком диапазоне частот и амплитуд воздействий;

— применение многоканального АЦП, обеспечивающего передачу оцифрованных данных с высокой точностью на параллельный порт персонального компьютера;

— получение данных в цифровом формате с возможностью программной обработки полученной информации, ее хранения и систематизации с целью выявления корреляционных зависимостей;

— высокую надежность и работоспособность в широком диапазоне климатических условий;

— незначительные габариты всех составляющих.

Обработка сигналов, регистрируемых датчиками вибрации, осуществляется при помощи специального программного обеспечения, в том числе пакета прикладных программ «LGraph2». С их участием дается возможность настройки параметров записи и визуализации сигналов в реальном времени (рис. 4). Функционально «LGraph2» представляет собой цифровой осциллограф. В дальнейшем результаты измерений сохраняются на жестком диске компьютера в формате «txt». При трансляции первичных данных в текстовый формат проявляет себя зависимость значений электрического напряжения, генерируемого датчиком, от времени. Для определения коэффициентов преобразования датчики вибрации предварительно калибруются.

С целью оценки полученных в ходе мониторинга результатов разработан пакет прикладных средств по обработке и визуализации данных на платформе «Mathcad». Структурная схема программы представлена на рис. 5.

Мониторинговое сопровождение движения поездов для исследуемой конструкции пути проводится в течение 6—15 дней (в зависимости от загруженности исследуемого участка) и включает:

— запись динамических процессов в элементах железнодорожного пути при различном характере подвижной нагрузки;

— определение контактных условий между элементами верхнего строения пути

(рельс — рельсовое крепление, рельсовое крепление — шпала, шпала — балластная призма) виброакустическим методом (рис. 6);

— определение собственных (резонансных) частот и демпфирующих свойств различных конструкций железнодорожного пути (рис. 7);

— прогноз скоростей подвижного состава, при которых будут возникать резонансные явления (рис. 8);

— определение условий воздействия экипажа на путь (рис. 9).

ВЫВОДЫ

Проведение комплексного мониторинга железнодорожного пути позволит проводить объективную оценку влияния конструктивных особенностей элементов пути (разные типы рельсовых креплений, различная крупность балласта) на уровень вибраций, возникающих при движении поезда, и принимать оптимальные решения при проектировании нового и реконструкции существующего пути.

Регулярный мониторинг способствует повышению уровня безопасности железнодорожного пути, увеличению срока его эксплуатации и уменьшению затрат по текущему содержанию. Даже при наличии в зоне эксплуатации дороги природных и техногенных факторов риски от ожидаемых влияний заметно снижаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Квашнин М. Я., Квашнин Н. М. Исследование изгибных колебаний упругих пластин с целью оптимизации методов виброакустического контроля // Вестник КазАТК. — 2009. — № 3 (58). — С. 152—160.
2. Махметова Н. М., Квашнин М. Я., Аханов А. Р., Квашнин Н. М. Практический опыт применения виброакустического метода при неразрушающем контроле слоистых строительных конструкций // Материалы III международной научно-практ. конференции «Актуальные проблемы механики и машиностроения». — Алматы, 2009. — Т. III. — С. 182—185.
3. Квашнин М. Я., Ибрагимов О. А., Квашнин Н. М. Некоторые результаты экспериментального определения динамических характеристик верхнего строения пути со креплением типа «Fossloh» при проходе «Тальго» // Промышленность Казахстана. — 2010. — № 3 (27). — С. 84—93.
4. Сатов М. Д., Квашнин М. Я., Квашнин Н. М. Мониторинг железнодорожного пути // Промышленность Казахстана. — 2010. — № 5. — С. 58—60.
5. Квашнин М. Я., Квашнин Н. М. Методика определения динамических характеристик железнодорожного пути // Известия Транссиба. — 2012. — № 2. — С. 136—141.

