

**Выводы:**

Анализ результатов расчетов показал, что при наличии на железнодорожной линии кривых, направленных в одну и разные стороны и коротких прямых вставках возможно их соединение встык, что не будет влиять на режимы движения поездов. Переход на другое возвышение позволит повысить скорости движения поездов [3].

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Исмагулова С.О., Тулемисов Т.Ж. Неблагоприятные участки плана линии Астана–Алматы /Материалы II- ой Междунар. науч.-прак. конф. посвященной 50-летию КазАТК. – Алматы, 2006.– С. 214-215.
2. Ауесбаев Е.Т. Теория и практика подготовки железнодорожного пути для скоростного пассажирского движения: автореф... докт. техн. наук: 09.09.04. Алматы, КУПС, 2004, 46 с.
3. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь – М.; Транспорт, 1987, 479 с.

**УДК 625.14: 625.041:625.042**

**Ибрагимов Оразбек Абдикеримович - к.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)**

**Квашнин Михаил Яковлевич - к.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)**

**Квашнин Николай Михайлович - м.н.с. (Алматы, Институт сейсмологии)**

**МОНИТОРИНГ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ**

Эволюция развития человечества и создание индустриальных методов хозяйствования привели к образованию глобальной техносферы, одним из элементов которой является железнодорожный путь.

Железнодорожный путь включает комплекс инженерных сооружений, предназначенных для безопасного движения поездов с заданными и перспективными нагрузками от колесных пар подвижного состава на рельсы и скоростями движения. От состояния пути зависят непрерывность и безопасность движения подвижного состава, а также эффективное использование технических средств железных дорог. В результате постоянного воздействия природных и техногенных факторов, путь воспринимает большие нагрузки от проходящих поездов. При этом все элементы пути (земляное полотно, верхнее строение и искусственные сооружения) по условиям надежности, прочности и устойчивости должны обеспечивать безопасное и плавное движение поездов с наибольшими нагрузками от колесных пар подвижного состава на рельсы и скоростями движения, а также иметь достаточные резервы.

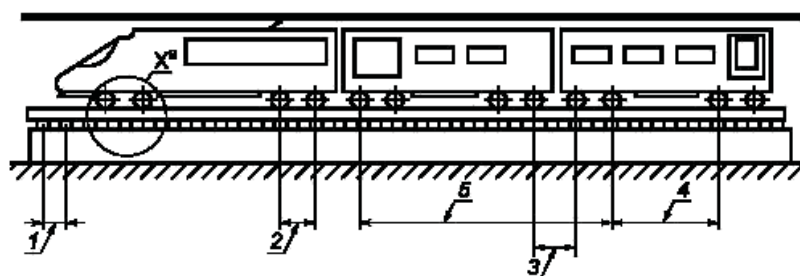
При эксплуатации объектов железной дороги следует учитывать способность их сохранять исходные параметры при природном и техногенном воздействиях. Характер этих воздействий определяется влиянием различных факторов, в том числе и уровнем вибраций, возникающих при движении подвижного состава. Вибрационные воздействия оказывают существенное влияние на состояние железнодорожного пути. Причинами их возникновения являются:

- нагрузки (квазистатическое возбуждение), т.е. перемещающийся вместе с движением поезда прогиб пути и опорной системы;
- неровности поверхности катания колес и рельсов. Случайные неровности в зоне контакта рельса с колесом вызывают возбуждение всей системы «подвижной состав – рельсовый путь»;
- параметрическое возбуждение. Если рельсовая опора имеет дискретную структуру – шпалы, упругие подушки 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 подвижного состава и пространственной дискретности 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. Характерные параметры источника вибрации представлены на рисунке 1. Частоту воздействия  $f_n$ , Гц, соответствующую  $n$ -му характерному расстоянию  $l_n$ , м (см. рисунок 1), определяют через скорость движения подвижного состава  $V$ , км/ч, по формуле:

$$f_n = \frac{V}{3.6 \cdot l_n} ;$$

- разрывы рельсового пути (на стрелочных переводах, в стыках рельсов и т.д.), вызывающие появление ударов;
- изменение режима движения. Ускорение или торможение подвижного состава сопровождается возникновением переменных сил и, соответственно, вибрацией;
- экстремальные внешние факторы. Например, температура и влажность головки рельса влияют на ее износ и, следовательно, на появляющуюся в результате вибрацию.



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

Рисунок 1 – Характерные параметры источника вибрации

Уровень вибрации, обусловленной вышеперечисленными причинами, зависит от входных импедансов 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.

Учитывая вышеизложенное, для повышения уровня безопасности функционирования железной дороги, необходимы прогрессивные методы диагностики и мониторинга и специальные инженерно-технические мероприятия, направленные на оценку влияния уровня вибраций, возникающих при движении подвижного состава, на текущее состояние всех элементов железнодорожного пути. Необходимость и актуальность внедрения инновационных систем и средств мониторинга железнодорожного пути нашли отражение в Программе развития железнодорожного пути до 2020 года.

Система мониторинга дает возможность установить постоянный инструментальный контроль над состоянием железнодорожного пути на длительный период. Кроме того, появляется возможность проводить объективную оценку влияния конструктивных особенностей элементов пути (разные типы рельсовых креплений, различная крупность балласта) на уровень вибраций, возникающих при движении

подвижного состава, и принимать наиболее оптимальные решения при проектировании нового и реконструкции существующего пути. Система мониторинга включает в себя стандарты (нормы устройства и содержания верхнего строения пути с учетом условий эксплуатации), контролируемые параметры, средства мониторинга и режим замеров, оценку предельно-допустимых норм с учетом допусков.

Комплекс характеризующих состояние объекта информативных параметров включает следующие количественные и качественные составляющие вибрационного процесса:

Вибросмещение - колебательное движение тела относительно положения равновесия, применяется для оценки, когда смещение является критическим, с точки зрения допустимых механических напряжений и зазоров;

Виброскорость – производная по времени от вибросмещения. Характеризует колебательную мощность:

$$P = m \cdot v,$$

где  $P$ ,  $m$ ,  $v$  – мощность, масса объекта, скорость механического колебания соответственно.

Виброускорение – производная по времени от виброскорости. Характеризует инерционную силу, которая воздействует на объект при вибрации:

$$F = m \cdot a,$$

где  $F$ ,  $a$  – инерционная сила и виброускорение, соответственно.

Среднее квадратическое значение (СКЗ) – соответствует колебательной энергии, характеризует разрушительное действие колебаний.

На основании изучения динамических процессов, протекающих на стратегических объектах [1-5], в частности, на верхнем строении железнодорожного пути, авторами предлагается комплексный мониторинг железнодорожного пути (см. рисунок 2).

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 (скорость движения, нагрузка на ось);
- определение контактных условий между элементами верхнего строения пути (рельс – рельсовое скрепление, рельсовое скрепление – шпала, шпала – балластное основание) виброакустическим методом;
- определение собственных частот и форм колебаний верхнего строения пути виброимпульсным методом.

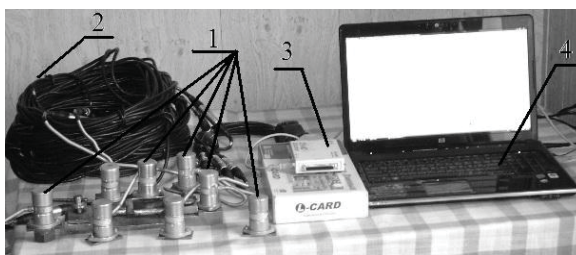
Мониторинг проводится с помощью мобильного виброизмерительного комплекса. Комплекс состоит из вибродатчиков МВ-25Д-В, которые преобразуют воздействующие на них механические вибрации в электрический сигнал. Преобразование аналогового сигнала в цифровую форму осуществляется в электронном блоке аналого-цифрового преобразователя (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». Общий вид мобильного виброизмерительного комплекса показан на рисунке 3. Все измерительные устройства, входящие в мобильный виброизмерительный комплекс сертифицированы и откалиброваны. При работе мобильного виброизмерительного комплекса в полевых условиях, его питание осуществляется от аккумуляторной батареи.



Рисунок 2 – Схема комплексного мониторинга железнодорожного пути

К основным достоинствам мобильного виброизмерительного комплекса можно отнести:

- модульный принцип компоновки комплекса с универсальным питанием;
- 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 типа «Notebook»;
- 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 и массу всех составляющих.



1 – вибродатчики; 2 – соединительный кабель; 3 – многоканальный АЦП;  
4 – портативный компьютер типа «Notebook»

Рисунок 3 – Общий вид мобильного виброизмерительного комплекса

Обработка сигналов, регистрируемых датчиками вибрации, осуществляется при помощи специального программного обеспечения, установленного на портативном компьютере типа «Notebook». Непосредственно, запись сигнала осуществляется при помощи пакета прикладных программ «LGraph2». Данная программа обеспечивает возможность настройки параметров записи сигналов и визуализации сигналов в реальном времени. Функционально программа «LGraph2» представляет собой цифровой осциллограф. В дальнейшем результаты измерений сохраняются на винчестере компьютера в формате “txt”. В результате трансляции первичных данных в текстовый формат, они представляют собой зависимость значений напряжений, генерируемых датчиком, от времени. Для определения коэффициентов преобразования датчики вибрации предварительно тарируются.

Для оценки полученных в ходе мониторинга результатов разработан пакет прикладных средств по обработке и визуализации данных на платформе продукта фирмы “Mathsoft Engineering & Education, Inc.” – “MATHCAD”. Структурная схема программы представлена на рисунке 4.

*Таблица*

**Выводы:**

Проведение комплексного мониторинга железнодорожного пути позволяет проводить объективную оценку влияния конструктивных особенностей элементов пути (разные типы рельсовых креплений, различная крупность балласта) на уровень вибраций, возникающих при движении подвижного состава, и принимать наиболее оптимальные решения при проектировании нового и реконструкции существующего пути. Это позволит повысить уровень безопасности железнодорожного пути, увеличить срок эксплуатации и уменьшить затраты по текущему содержанию пути.

Дальнейшее направление работ представляется в развитии комплексного мониторинга железнодорожного пути для оценки его состояния с использованием сейсмологического оборудования.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Квашнин М.Я., Квашнин Н.М. Исследование изгибных колебаний упругих пластин с целью оптимизации методов виброакустического контроля // Алматы, 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 НПК «Актуальные проблемы механики и машиностроения», КазНТУ, том III, Алматы, 2009, с. 112-116.
3. Махметова Н.М., Квашнин М.Я., Квашнин Н.М. Исследование колебаний элементов верхнего строения пути со креплением типа ЖБР с полимерным боковым упором // Алматы, Вестник КазАТК № 3 (64), 2010, с. 106-112.
4. Квашнин Н.М. Исследование свободных колебаний элементов верхнего строения пути со креплением типа КПП-5 // Алматы, Промышленный транспорт Казахстана, 2010, с. 35-42.
5. 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» // Алматы, Промышленный транспорт Казахстана, 2010, №3, с. 42-54.

***ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ,  
АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ***

**УДК 624.042.7.699.841.**

**Байнатов Жумабай Байнатович – д.т.н., профессор (Алматы, Каз АТК)**

**Базанова Инна Амандыковна – к.т.н., доцент (Алматы, Каз АТК)**

**КВАЗИДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ  
СИЛ ГРУНТОВОГО МАССИВА**

Расчеты грунтового массива в сейсмически активной зоне базируются на сейсмологических данных, получаемых на основе микросейсмораионирования территории строительства. Сейсмологическая основа зависит от используемых расчетных методов. На практике часто используются два основных расчетных метода: динамический и статический (или квазидинамический). Динамический метод предусматривает оценку напряженно-деформированного состояния и устойчивости грунтового массива как