



# Выбор конструкции промежуточного скрепления методами вибродиагностики



Александр ЗАМУХОВСКИЙ  
Aleksandr ZAMUHOVSKIY

Айгуль ЖАНГАБЫЛОВА  
Aygul ZHANGABYLOVA



*Замуховский Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

*Жангабылова Айгуль Мамытовна – аспирант кафедры «Путь и путевое хозяйство» МИИТ, Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, Алматы, Республика Казахстан.*

**Choosing the Design of an Intermediate Fastening by Vibrodiagnostics Methods**  
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 37)

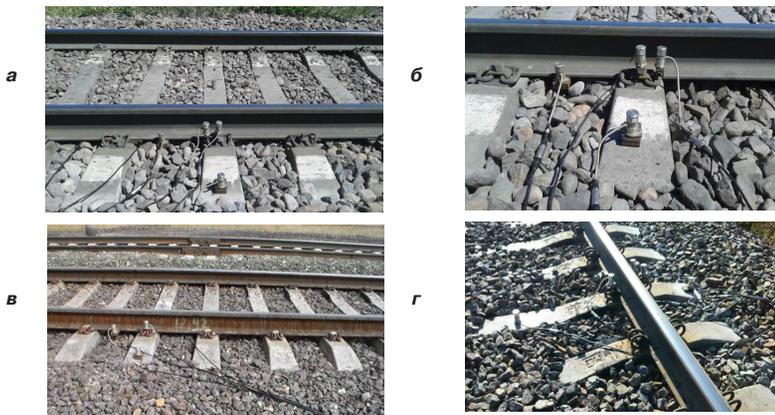
**В статье рассматриваются основные положения методики вибродиагностики железнодорожного пути на участках сопряжений упругих промежуточных рельсовых скреплений Фоссло W14 и ЖБР65-Ш, Pandrol Fastclip и КПП-5, делается сравнение по наиболее значимым оценочным критериям результатов вибродиагностики с результатами прохода путеизмерительного вагона на железнодорожных участках Казахстана.**

**Прогнозируются перспективы использования вибродиагностики на линиях с высокими динамическими параметрами эксплуатационной нагрузки.**

*Ключевые слова:* железнодорожный путь, вибродиагностика, динамические параметры, оценочные критерии, промежуточные рельсовые скрепления, спектральная плотность, коэффициент затухания.

**В** соответствии со стратегией развития транспортной системы Республики Казахстан до 2020 года планируется строительство новых и реконструкция действующих железных дорог, а также модернизация инфраструктуры. Одним из направлений стратегии является развитие сети скоростного и высокоскоростного движения поездов. Организация такого движения на сети железных дорог Казахстана тесно связана с обеспечением необходимого уровня надежности пути, его земляного полотна и верхнего строения, оказывающих значительное влияние на безопасность движения.

Железные дороги развитых стран постоянно ищут возможности использования передовых технологий, вкладывают средства в приобретение датчиков и измерительных систем разных конструкций, позволяющих решать некоторые частные проблемы, но пока что ощущается недостаток в таких технических средствах, которые могли бы решить проблему в комплексе, с получением от этого всего серьезных потенциальных выгод. Такие датчики и измерительные системы широко используются, к примеру, на грузовых железных дорогах Север-



**Рис. 1. Варианты установки вибродатчиков:**  
 а) промежуточное скрепление Фоссло W-14; б) ЖБР65-Ш; в) Pandrol Fastclip; г) КПП-5.

ной Америки в соответствии с действующим с 1994 года руководящим документом AAR41as о критериях изъятия колес на основе показаний детекторов. Железные дороги США получают существенную экономию за счет увеличения срока службы колес и рельсов [1].

Вибрации, возникающие в элементах железнодорожного пути (рельсах, шпалах, рельсовых скреплениях и т.д.) при прохождении поездной нагрузки, в значительной мере влияют на прочность, а следовательно, и на долговечность работы как самих элементов, так и железнодорожного пути в целом [2–5]. Профессор Г. М. Шахунянец отмечал, что неблагоприятное влияние вибраций сказывается как на сопротивляемости пути поездным нагрузкам в продольном и поперечном направлениях (угон, изменение положения в плане и ширины колеи), так и на стабильности и прочности промежуточных и стыковых рельсовых скреплений [6].

В данной работе приведены некоторые результаты измерений механических колебаний (вибраций) элементов пути на двух участках сопряжений различных типов промежуточных рельсовых скреплений при воздействии подвижной нагрузки и основные положения методики оценки отклика его конструктивных элементов на это воздействие.

Исследования выполнялись на магистральных линиях АО «НК «Казахстанские железные дороги» с использованием мобильного виброизмерительного комплекса. Такой комплекс состоит из датчиков вибрации (велосиметров) МВ-25Д-В, которые преобразуют воздействующие на них механические колебания (вибрацию) в электри-

ческий сигнал. Преобразование аналогового сигнала в цифровую форму осуществляется в электронном блоке АЦП модели Е-14–440. Сбор цифровых данных с АЦП, общее управление измерениями и обработка сигналов реализовываются при помощи специального программного обеспечения персонального компьютера типа «Notebook».

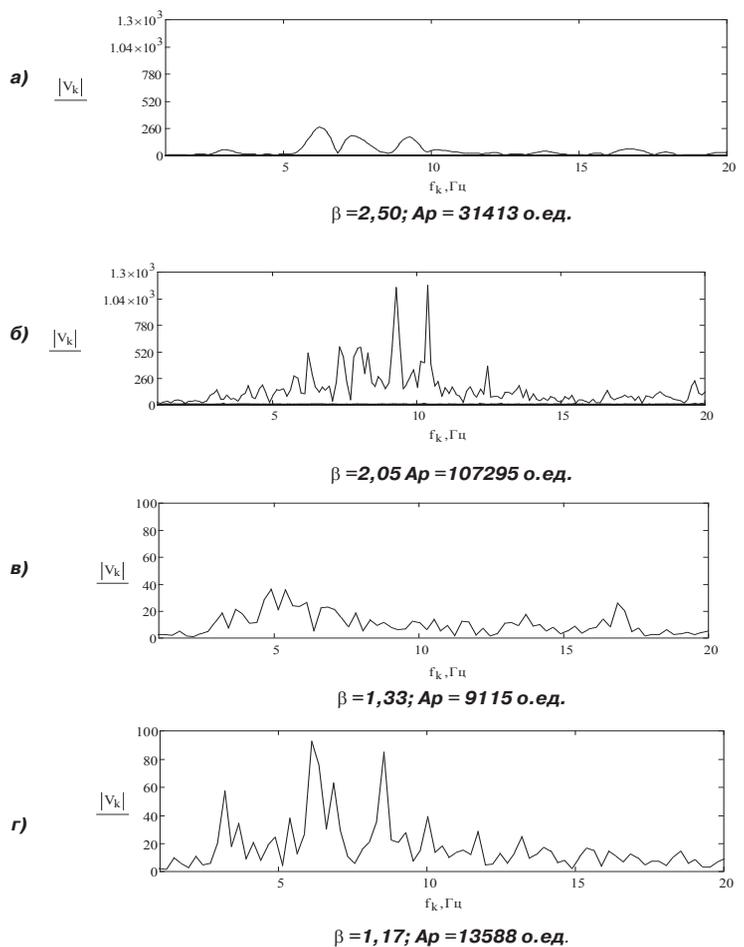
Датчики вибрации устанавливаются в двух сечениях исследуемого участка железнодорожного пути в соответствии с разработанной схемой. Схема установки датчиков зависит от задач исследования и может варьироваться в процессе проведения вибродиагностики в достаточно широких пределах (рис. 1). С целью минимизации взаимного влияния колебаний конструкций с различными типами рельсовых скреплений на участках сопряжения расстояние между сечениями должно быть максимально возможным, а длина измерительного тракта не влиять на результат измерений. Производятся записи (не менее пяти) процесса колебаний элементов железнодорожного пути от воздействия поездной нагрузки.

Аналоговый сигнал с вибродатчиков в АЦП преобразуется в цифровую форму и приводится к реальным значениям виброскорости по калибровочным коэффициентам, выведенным для каждого датчика в процессе их тарировки. Производится построение амплитудно-временных зависимостей (виброграмм) для каждого элемента в отдельности (для рельсов, шпал, рельсовых скреплений).

С использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ) производится построение графиков спектральной плотности дисперсии сигнала (амплитудно-



**Рис. 2. График спектральной плотности виброскорости колебаний подошвы рельса конструкций пути со скреплениями Фоссло W14 (а) и ЖБР-65ШД (б), Pandrol Fastclip (в), КПП-5 (г) при проходе электровоза ВЛ-80<sup>с</sup> со скоростью 85 км/ч.**



частотных зависимостей) — спектров виброскорости. Вычисляется среднеквадратическое значение (СКЗ) виброскорости. При помощи операции интегрирования численным методом амплитудно-временных зависимостей виброскорости производится построение графиков амплитудно-временной зависимости виброперемещения (осциллограмм), а затем с помощью БПФ строятся графики спектра виброперемещения (амплитудно-фаза-частотные зависимости виброперемещения).

Далее, после предварительной фильтрации оцифрованного сигнала с вибродатчиков в нижнем диапазоне частот (от 0 до 1000 Гц) на основе дифференцирования производится построение графиков амплитудно-временной зависимости виброускорения (акселерограмм). С использованием БПФ строятся графики амплитудно-фаза-частотных зависимостей виброускорения — спектров виброускорения (графиков спек-

тральной плотности дисперсии). Вычисляется СКЗ виброускорения.

Следует отметить, что БПФ представляет собой аппроксимацию действительного преобразования Фурье на конечном интервале времени  $\Delta t$  и, следовательно, для повышения точности аппроксимации расстояние между точками должно быть как можно меньше. Кроме того, алгоритмы БПФ требуют, чтобы количество точек было равно 2 в степени  $N$ , т.е.  $n = 2^N$ , где  $N$  есть целое число. Как результат переход при анализе сигнала из временной области в частотную область может происходить в реальном времени. Проблема «растекания» спектра решается применением такой технологии записи сигнала, при которой записывающая аппаратура начинает и заканчивает запись при уровне сигнала, близком к нулю.

Измерения и анализ колебаний (вибраций) элементов верхнего строения пути на ряде участков сопряжений с различными типами промежуточных рельсовых скрепле-

Таблица 1

**Данные технического состояния железнодорожного пути по результатам прохода путеизмерительного вагона и вибродиагностики участков сопряжения**

Участок		1-й участок (УПЧ-46)		2-й участок (УПЧ-30)	
Тип скрепления		Фоссло W-14 (4035 км)	ЖБР-65ШД (4036 км)	Pandrol Fastclip (227км)	КПП-5 (228км)
Техническая характеристика пути: класс; группа и категории пути		1В1		1В2	
Рельсы типа Р-65, бесстыковой путь		Р-65		Р-65	
Скорость локомотива; км/ч		85		85	
Пропущенный тоннаж; млн т • км брутто		305,4		236,4	
Год последнего капитального ремонта пути		2006		2010	
Бальная оценка состояния пути (за июль первый участок, за август второй участок), 2015 год		10	40	40	150
Критерии оценки	<i>n</i> , шт	28	39	35	47
	<i>ωш</i> , мм/с	39,24	56,32	59,02	83,35
	<i>ωр</i> , мм/с	98,1	115,82	78,72	97,6
	<i>β</i>	2,50	2,05	1,33	1,17
	<i>Ar</i> , о.ед.	31413	107296	9115	13588
	<i>Aш</i> , о.ед.	15646	34955	7918	9643
	<i>γ</i> = <i>Ar/Aш</i>	2,01	3,07	1,15	1,40

Примечание: *n* – количество выявленных неисправностей 2-й степени по итогам за июль (1-й участок) и август (2-й участок) 2015 года; *ωш* – среднеквадратическое значение (СКЗ) виброскорости колебаний шпалы; *ωр* – среднеквадратическое значение (СКЗ) виброскорости колебаний рельса; *β* – коэффициент затухания; *Ar* – площадь спектральной плотности дисперсии (спектр виброскорости) рельса; *Aш* – площадь спектральной плотности дисперсии (спектр виброскорости) шпалы; *γ* – отношение площади спектра виброскорости рельса к площади спектра виброскорости шпалы.

ний позволил выявить их основные закономерности и рекомендовать следующие критерии оценки для сравнения работы конструкций пути в динамике:

- пиковые и среднеквадратические значения виброскорости колебаний рельса в центре междушпального ящика и в середине шпалы на оси пути, характеризующие изгибные колебания данных элементов и возникающие в них механические напряжения;

- коэффициент затухания *β* амплитуды виброскорости колебаний рельса по отношению к колебаниям шпалы, площади спектров виброскорости колебаний рельса *Ar* и шпалы *Aш* в диапазоне частот до 20 Гц и их отношение, характеризующие изменение колебательной мощности и демпфирование вибрации вследствие рассеяния механической энергии;

- отношение динамических сил, возникающих при движении поезда на подошве рельса в центре междушпального ящика, к статическим силам, характеризующее силовое динамическое воздействие на рельс;

- отношение динамических сил, возникающих при движении поезда в середине

шпалы на оси пути, к статическим силам, характеризующее силовое динамическое воздействие на шпалу.

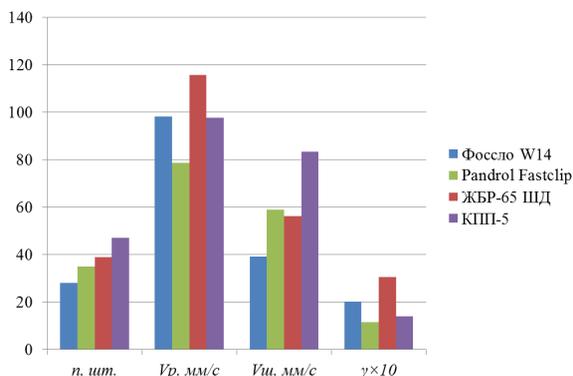
На рис. 2 приведены графики спектральной плотности виброскорости (спектры мощности) колебаний подошвы рельса на участках сопряжения конструкций пути со скреплениями Фоссло W14 и ЖБР65-Ш, Pandrol Fastclip и КПП-5 при проходе электровагона ВЛ-80<sup>с</sup> со скоростью 85 км/ч.

Сравнивая отклик конструкций пути на участках сопряжения по площади *Ar* спектра мощности и коэффициенту затухания *β* амплитуды виброскорости колебаний рельса по отношению к колебаниям шпалы, можно сделать вывод, что скрепление Фоссло W14 при скорости электровагона 85 км/ч лучше гасит вибрации, чем скрепление ЖБР-65ШД (рис. 2а, б). Из сравнения по тем же параметрам участков со скреплениями Pandrol Fastclip и КПП-5 следует, что наилучшими демпфирующими свойствами, то есть лучшей способностью гасить вибрации, обладает участок пути со скреплением Pandrol Fastclip (рис. 2в, г).

Сейчас на железных дорогах Казахстана применяется компьютеризированный вагон-



**Рис. 3. Взаимосвязь итогового количества отступлений 2-й степени и результатов вибродиагностики верхнего строения пути на участках сопряжения различных конструкций рельсовых скреплений.**



лаборатория КВЛ-П2.1 (путеизмерительный вагон № 056), в котором автоматизированы сбор, расшифровка, хранение и соотнесение с нормативами данных, получаемых измерительными средствами вагона [7–9].

В таблице 1 приведены данные технического состояния железнодорожного пути по результатам прохода путеизмерительного вагона и вибродиагностики участков сопряжения конструкций пути с различными типами рельсовых скреплений.

На рис. 3 показаны диаграммы взаимосвязи итогового количества отступлений 2-й степени и оценочных критериев, полученных в результате проведения вибродиагностики верхнего строения пути на участках сопряжения. Из приведенных диаграмм видно, что оценочные критерии, принятые при проведении вибродиагностики, вполне адекватно отражают состояние пути, определенное по результатам прохода путеизмерительного вагона.

## ВЫВОДЫ

Внедрение предлагаемой *методики вибродиагностики* даст возможность производить экспресс-анализ состояния железнодорожного пути на участках с различными типами рельсовых скреплений по динамическим параметрам и позволит принимать наиболее оптимальные решения при планировании работ по текущему содержанию и ремонтам пути с учетом воздействия обрабатываемого подвижного состава.

Принятые оптимальные конструктивные решения приведут к увеличению срока эксплуатации и уменьшению затрат на текущее

содержание пути и повышению уровня безопасности железнодорожного транспорта в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kalay, S., Samuels, J. Railway Track & Structures, 2002, № 3, p. 13–16. [http://cargovibes.eu/\\_Uploads/dbsAttachedFiles/D0301\\_APT\\_M27.pdf](http://cargovibes.eu/_Uploads/dbsAttachedFiles/D0301_APT_M27.pdf). Доступ 27.06.2016.
2. EN13146–3:2002 Railway applications – Track – Test methods for fastening systems – Part 3: Determination of attenuation of impact loads. [Электронный ресурс]: [https://webshop.ds.dk/Files/Files/Products/M242496\\_attachPV.pdf](https://webshop.ds.dk/Files/Files/Products/M242496_attachPV.pdf). Доступ 27.06.2016.
3. EN13481–6:2002 Railway applications – Track – Performance requirements for fastening systems – Part 6: Special fastening systems for attenuation of vibration. [Электронный ресурс]: <http://catalogue.normdocs.ru/content?id=com.normdocs.bsi.card.dd.env.13481–6.2002>. Доступ 27.06.2016.
4. ISO 2017–2 Mechanical vibration and shock – Resilient mounting systems – Part 2: Technical information to be exchanged for the application of isolation vibration associated with railways systems. [Электронный ресурс]: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_ics/catalogue\\_detail\\_ics.htm?ics1=93&ics2=100&ics3=&number=36647](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?ics1=93&ics2=100&ics3=&number=36647). Доступ 27.06.2016.
5. NS8176:1999 Vibration and shock – Measurement of vibration in buildings from land based transport and guidance for evaluation of its effects on human beings. [Электронный ресурс]: <http://www.aucklandcouncil.govt.nz/EN/planspolicies/projects/plansstrategies/unitaryplan/Documents/Section32report/Appendices/Appendix%203.43.2.pdf>. Доступ 27.06.2016.
6. Шахуняц Г. М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987. – 236 с.
7. Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов. – М., Транспорт, 1997. – 42 с.
8. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути (ЦП-774). Утв. ЦП МПС РФ от 1.06.2000 г.
9. Методика автоматической оценки состояния рельсовой колеи по Инструкции ЦП-515. НПЦ Инфотранс 1998 г. Утв. ЦП МПС 30.10.1998 г. ●

Координаты авторов: **Замуховский А. В.** – [miit.ppx@gmail.com](mailto:miit.ppx@gmail.com),  
**Жангабылова А. М.** – [zhangabylova82@mail.ru](mailto:zhangabylova82@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 27.06.2016, принята к публикации 25.08.2016.