



Влияние типа креплений на динамическую работу пути



Михаил КВАШНИН
Mikhail Ya. KVASHNIN

Айгуль ЖАНГАБЫЛОВА
Aigul M. ZHANGABYLOVA



Александр ЗАМУХОВСКИЙ
Alexander V. ZAMUKHOVSKY

Квашнин Михаил Яковлевич — кандидат технических наук, доцент Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, Алматы, Казахстан. Жангабылова Айгуль Мамытовна — аспирант МИИТ, Москва, Россия.

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

Influence of Fastening's Type On Track's Dynamic Work

(текст статьи на англ. яз. — English text of the article — p. 77)

Авторы знакомят с результатами измерений и анализа механических колебаний верхнего строения железнодорожного пути с промежуточными рельсовыми креплениями типа Pendrol и ЖБР65-Ш при вибродинамическом воздействии подвижного состава. Натурные экспериментальные исследования прошли на магистральном участке укрупненной Экибастузской дистанции пути в Казахстане. Полученные данные могут быть использованы в качестве одного из критериев обоснования выбора наиболее оптимального типа рельсовых креплений.

Ключевые слова: железнодорожный путь, промежуточные рельсовые крепления, подвижной состав, вибродинамическое воздействие, виброперемещение, осциллограмма, среднееквадратическое значение виброперемещений.

Общеизвестно, что при одинаковых по форме и размерам неровностях на жестком пути (например, верхнее строение пути (ВСП) с железобетонными шпалами) динамические добавки сил, действующие от колеса на рельс, выше, чем на упругом пути (ВСП с деревянными шпалами). Это обстоятельство способствует развитию дефектов рельсов (контактно-усталостной природы) и расстройству пути в целом. Опыт эксплуатации показывает, что при железобетонных шпалах выход из строя рельсов по дефектам в стыковой зоне значительно возрос по сравнению с выходом из строя рельсов на деревянных шпалах. Наблюдается более интенсивное образование волнообразного износа рельсов.

Для более полной реализации преимуществ железобетонных шпал и максимального уменьшения указанных недостатков научные исследования и практические меры идут по двум направлениям.

Во-первых, всеми возможными способами предупреждается образование неров-

ностей на колесах подвижного состава и рельсах во избежание действия возмущающих сил, порождающих вредные вибрации. К числу мероприятий в этом направлении относятся: повсеместное внедрение бесстыкового пути, шлифование рельсов, своевременное устранение вертикальных неровностей и ужесточение технических требований в отношении размеров допускаемых неровностей на поверхности катания рельсов и колес, а также усиление контроля над их состоянием.

Во-вторых, создаются различные типы упругих промежуточных рельсовых креплений, позволяющих снижать вибрационное динамическое воздействие на шпалы, балласт и земляное полотно, а также интенсивность остаточных деформаций пути при имеющихся эксплуатационных неровностях на рельсах и колесах.

1.

В настоящее время на магистральных путях АО «НК «КТЖ» и ОАО «РЖД» применяют различные типы промежуточных рельсовых креплений. Однако универсальных, отвечающих всем требованиям эксплуатации эффективных крепящих элементов для железобетонных шпал на казахстанских и российских железных дорогах нет, а, следовательно, актуальной задачей остается поиск конструкции креплений, которая обеспечивала бы им максимально рациональную упругость.

Обеспечение рациональной пространственной упругости рельсовых креплений чрезвычайно необходимо, чтобы упруго перерабатывать динамические воздействия колес подвижного состава на рельсы, гасить высокочастотные вибрации, влияющие на расстройство пути и особенно на болтовые соединения, поддерживать равноупругость подрельсового основания. Предельные критерии параметров вибраций, создаваемых железнодорожным транспортом, регламентируются нормативными документами ряда стран дальнего зарубежья [1-4]. В России параметры вибраций нормируются по критерию воздействия на человека только для зданий и сооружений [5, 6].

Упругость, создаваемая креплениями, отделяет массу рельса от подрельсового основания аналогично тому, как рессоры отделяют кузов экипажа от его ходовых

частей. Это существенно снижает силы инерции, образующиеся при движении колес по неровностям пути. Однако при низкой вертикальной и горизонтальной жесткости опор увеличивается статический изгиб рельсовых нитей под колесной нагрузкой, увеличивается также поворот поперечных сечений рельсов, создающий угоняющий эффект. Отсюда, собственно, и возникает понятие рациональной (оптимальной) пространственной упругости, при которой взаимодействие пути и подвижного состава будет наилучшим, а напряжения, деформации и накопления последних станут минимальными. Кроме того, неизменная упругая связь элементов креплений с рельсами, подрельсовыми опорами и друг с другом с заданным натяжением нужна для обеспечения нормальной работы креплений, предотвращения неупругих колебаний их элементов и связанных с этим расстройств узлов креплений.

В целях сравнения динамической работы рельсовых креплений Pandrol и ЖБР65-Ш авторами на участке их сопряжения были проведены натурные экспериментальные исследования параметров отклика конструкций пути при воздействии подвижного состава. Исследования проводились на магистральном участке укрупненной Экибастузской дистанции пути (УПЧ-30) казахских железных дорог.

Датчики вибрации (велосиметры) ставились исходя из возможности получить наиболее полную картину работы элементов рельсошпальной решетки и железнодорожного пути в целом. Для установки датчиков на подошве рельса и упругих клеммах рельсовых креплений использовались различные вспомогательные устройства: пластины, зажимы, трубины, прижимные болты. На железобетонных шпалах вначале производилось жесткое болтовое соединение прибора с металлической пластиной, а затем пластина приклеивалась к исследуемой конструкции. На рис. 1 представлена схема расположения датчиков.

На рис. 2 показан общий вид участков железнодорожного пути с промежуточными рельсовыми креплениями Pandrol Fast Clip (рис. 2а) и ЖБР65-Ш (рис. 2б) и установленными вибродатчиками.



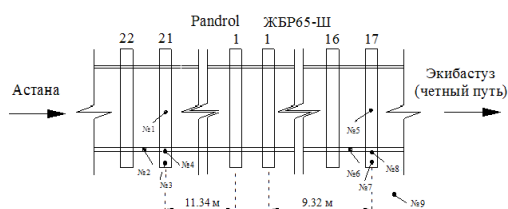


Рис. 1. Схема расположения датчиков:
 № 1 – на середине шпалы; № 2 – на подошве рельса; № 3 – на краю шпалы;
 № 4 – клемма Pandrol Fast Clip; № 5 – на середине шпалы; № 6 – на подошве рельса;
 № 7 – на краю шпалы; № 8 – клемма ЖБР65-Ш.

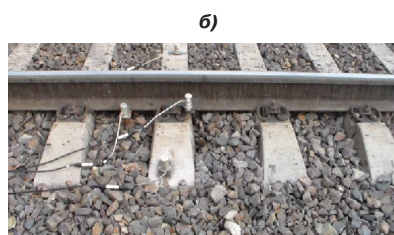
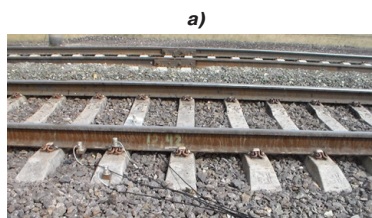


Рис. 2. Общий вид пути с установленными датчиками вибрации:
 а – со скреплением Pandrol; б – ЖБР65-Ш.

В качестве средства измерений использовали мобильный виброизмерительный комплекс с комплектом вибродатчиков и пакетом прикладных программ по обработке и визуализации данных. Технические характеристики и программное обеспечение достаточно подробно приведены в [7], а методика обработки цифровых сигналов изложена в [8].

Записи механических колебаний элементов железнодорожного пути производились в двух сечениях, имеющих одинаковые характеристики (рельс типа Р65, щебеночный балласт), прямой участок.

Для обеспечения подробного анализа применялась специальная программа, позволяющая вырезать из общей записи сигнала интересующий фрагмент.

Комплекс информативных параметров, характеризующий состояние объекта, включал следующие качественные и количественные составляющие вибрационного процесса:

– *виброперемещение* – колебательное движение тела относительно положения равновесия, применяемое для оценки, когда перемещение является критическим с точки зрения допустимых механических напряжений и зазоров;

– *виброскорость* – производная по времени от виброперемещения, которая характеризует колебательную мощность

$$P = mv, \quad (1)$$

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

– *виброускорение* – производная по времени от виброскорости, которая характеризует инерционную силу, действующую на объект при вибрации

$$F = ma, \quad (2)$$

где F , a – инерционная сила и виброускорение.

2.

Для количественной оценки механических колебаний использовались следующие параметры: размах, пиковое значение, среднеквадратическое значение (СКЗ) (рис. 3).

Размах $r_r(s_r, v_r, a_r)$ – разность между наибольшим и наименьшим значениями колеблющейся величины.

Пиковое значение $r_p(s_p, v_p, a_p)$ – наибольшее абсолютное значение максимальных отклонений колеблющейся величины.

СКЗ является самым важным параметром, поскольку в нем учитывается временное развитие исследуемых колебаний, и оно непосредственно отображает значение, связанное с энергией сигнала и, следовательно, разрушающей способностью этих колебаний. Если имеется N дискретных значений колеблющейся величины, то среднеквадратическое значение:

$$r_e(s_e, v_e, a_e) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i^2}, \quad (3)$$

где s_e , v_e , a_e – соответственно СКЗ виброперемещения, виброскорости и виброускорения.

Анализ выполненных с участием авторов записей проезда подвижного состава со скоростями от 45 до 103 км/ч через опытный участок с промежуточным рельсовым скре-

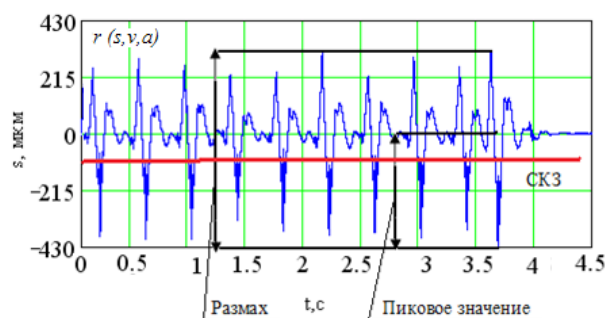


Рис. 3. Кривая полигармонической вибрации.

плением FOSSLOH, уложенным на магистральной линии укрупненной Алматинской дистанции пути, подробно изложенный в работе [8], показал следующее:

- корреляционные зависимости пиковых и среднеквадратических значений виброскорости и виброускорения элементов пути от скорости подвижного состава имеют низкий коэффициент достоверности аппроксимации. Данное обстоятельство вызвано тем, что условия контактного взаимодействия шпалы с балластным основанием и эффективный коэффициент трения шпалы о балласт меняются при каждом проходе поезда и, как следствие, изменяются изгибные моды высшего порядка;

- корреляционные зависимости пикового и среднеквадратического значений виброперемещения элементов пути от скорости подвижного состава имеют более высокий коэффициент достоверности аппроксимации;

- наиболее высокие коэффициенты достоверности аппроксимации получены для корреляционных зависимостей среднеквадратического значения виброперемещения от скорости движения электровоза ВЛ-80 на подошве рельса (рис. 4а; $R^2 = 0,8956$) и на середине шпалы (рис. 4б; $R^2 = 0,918$).

При проходе электровоза ВЛ-80 по участку сопряжения скреплений со скоростями 65 и 85 км/ч определены пиковые и среднеквадратические значения вертикального виброперемещения подошвы рельса в центре междушпального ящика и вертикального виброперемещения середины шпалы (таблица 1).

ВЫВОДЫ

Анализ колебаний элементов пути с промежуточными рельсовыми скреплениями Pandrol и ЖБР65-Ш показал следующее:

- тип промежуточного рельсового скрепления значительно влияет на количествен-

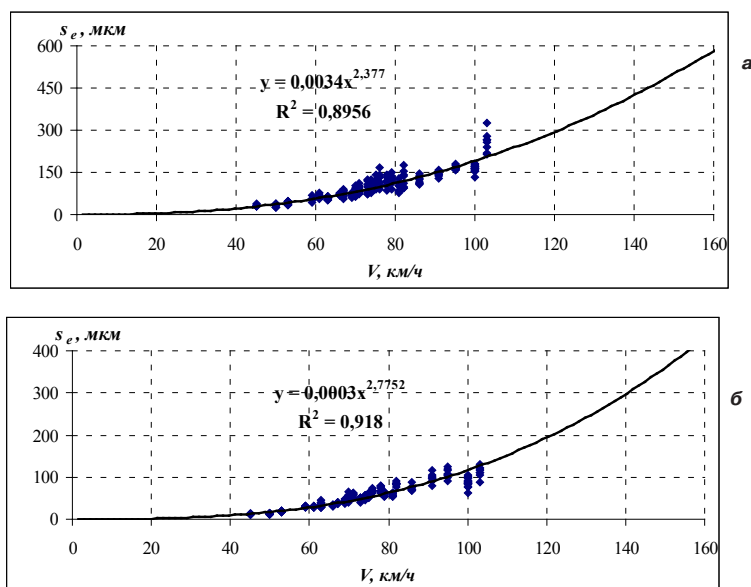


Рис. 4. Зависимость среднеквадратического значения виброперемещения на подошве рельса (а) и середине железобетонной шпалы (б) от скорости движения электровоза ВЛ-80.





Таблица 1

**Пиковые и среднеквадратические значения вертикального виброперемещения
подошвы рельса в центре междушпального ящика и вертикального
виброперемещения середины шпалы**

Параметры	Pandrol		ЖБР65-Ш		Снижение, % по отношению к Pandrol	
Скорость локомотива, км/ч	65	85	65	85	65	85
Пиковые значения вертикального виброперемещения подошвы рельса и вертикального виброперемещения середины шпалы, мкм	603,71	786,01	446,74	526,49	26	33
Среднеквадратические значения вертикального виброперемещения подошвы рельса, мкм	204,77	273,74	176,10	221,80	14	19
Пиковые значения вертикального виброперемещения середины шпалы, мкм	172,40	198,01	135,62	146,21	21	26
Среднеквадратические значения вертикального виброперемещения середины шпалы, мкм	57,92	65,99	51,88	55,98	10	15

ные характеристики отклика конструкции пути на вибродинамическое воздействие подвижного состава;

— в качестве основных критериев качественной и количественной оценки вибродинамического воздействия подвижного состава на путь с целью сравнения динамической работы пути с различными типами промежуточных рельсовых креплений можно рекомендовать принимать пиковые и среднеквадратические значения виброперемещений подошвы рельса в центре междушпального ящика и середины шпалы;

— зависимость значений виброперемещений рельса и шпалы может быть аппроксимирована зависимостью вида $y = ax^b$, где a — масштабный множитель, b — показатель степени, определяемые экспериментально;

— пиковые и среднеквадратические значения виброперемещений подошвы рельса характеризуют изгибные колебания рельса, а пиковые и среднеквадратические значения на середине шпалы — изгибные колебания шпалы;

— промежуточное рельсовое крепление ЖБР65-Ш в контексте динамической работы пути под подвижной нагрузкой имеет значительно лучшие показатели, чем промежуточное рельсовое крепление Pandrol;

— для крепления Pandrol с точки зрения обеспечения экономической

эффективности, достижения высоких сроков службы всех элементов пути и оптимальных условий их эксплуатации необходимы дополнительные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. EN13481-6:2002 Railway applications — Track — Performance requirements for fastening systems — Part 6: Special fastening systems for attenuation of vibration.
2. VDI 3837:2006 Ground-borne vibration in the vicinity of local public transport railways. <http://www.complexdoc.ru/text/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%20%D0%A0%20%D0%98%D0%A1%D0%9E%2014837-1-2007/88>. Доступ 13.03.2015.
3. NS8176:1999 Vibration and shock — Measurement of vibration in buildings from land based transport and guidance for evaluation of its effects on human beings. <http://www.complexdoc.ru/text/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%20%D0%A0%20%D0%98%D0%A1%D0%9E%2014837-1-2007/87>. Доступ 13.03.2015.
4. DIN45673 Mechanical vibration — Resilient elements used in railway tracks. <http://www.beuth.de/en/article/din45673/>. Доступ 13.03.2015.
5. ГОСТ 31191.5-2007 (ИСО 2631-5:2004) Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 5. Вибрация, содержащая множественные ударные импульсы.
6. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. 2.1.8. Физические факторы окружающей природной среды.
7. Квашнин Н. М. Исследование механических колебаний железнодорожного пути / Дис... канд. техн. наук — Алматы: 2010. — 144 с.
8. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. — СПб.: Питер, 2002. — 608 с. ●

Координаты авторов:

Квашнин М. Я. — kvashnin_mj55@mail.ru, Жангабылова А. М. — zhangabylova82@mail.ru, Замуховский А. В. — miit.ppx@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 02.03.2015, актуализирована 13.03.2015, принята к публикации 11.06.2015.