

С.С. Абдуллаев¹, Б.Ш. Дуйсембаева², Ғ.Б.Бақыт³

¹ Satbayev University, Алматы, Казахстан

² Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

³ Академия логистики и транспорта

E-mail: Seidulla@mail.ru

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕРОВНОСТЕЙ ПУТИ

Аннотация. Настоящая работа посвящена разработке моделей возмущений, действующих на подвижной состав со стороны пути, для расчетов динамической нагруженности подвижного состава железных дорог, а также их применению для решения задач классификации возмущений в автоматическом режиме на базе бортовой ЭВМ вагона-лаборатории. При этом необходимо классифицировать возмущения, действующие на подвижной состав со стороны пути, причем решение этой задачи необходимо выполнять как для случая описания детерминированных неровностей, так и для спектрального представления неровностей. Применение данной методики оценки распределения амплитуд случайных вертикальных неровностей по спектру сигнала, регистрируемого вагоном-путеизмерителем, классификации состояния пути и правил классификации неровностей на основе показателей динамики взаимодействия пути и подвижного состава.

Ключевые слова. Железнодорожный путь, неровностей пути, оценки и классификации возмущений, бортовой вагона-лаборатории.

Введение.

В последние годы интенсивно растет потребность повышения пропускной способности железнодорожной линии Казахстана. Проблема улучшения показателей безопасности использования поездов, имеющих большой массы и длины является актуальной приграничных зонах сети железных дорог России и Китая. В связи с применением сверхмощных локомотивов, повышением нагрузки на ось, оптимизацией системы перевозочного процесса решается комплексная задача, которая в свою очередь приводит к внедрению в эксплуатацию тяжеловесных поездов.

Наряду с этими, появляется необходимость улучшения показателей прочности, так как повышается скоростные показатели движения поездов с нарастающей грузоподъемности.

Использование рельсов тяжелых типов и железобетонных шпал помимо с улучшением показателей надежности и прочности железнодорожного пути требует улучшения упругости основания пути и жесткости пути.

При выполнении расчетов оценки динамической нагруженности подвижного состава железных дорог в качестве возмущений, действующих со стороны пути, задаются либо неровности определенной формы, либо усредненные спектральные характеристики геометрических параметров неровностей. В результате выполнения таких расчетов обычно удается получить достаточно достоверные оценки средних значений исследуемых динамических показателей. Однако геометрия неровностей реальных отрезков пути в действительности обладает значительной изменчивостью, что является одной из наиболее

важных причин, вызывающих разброс оцениваемых динамических показателей относительно их средних значений. На практике при изучении динамических свойств подвижного состава важно не только оценить средние значения ряда динамических показателей, но и исследовать разброс этих показателей за счет изменчивости возмущающих факторов в реальных условиях. Такие исследования позволят оценить вероятность достижения исследуемым динамическим показателем заданного критического значения.

Материалы и методы.

Объективные результаты в проводимых исследованиях могут быть получены лишь при наличии достоверного описания возмущений, действующих на подвижной состав.

Одной из составляющих возмущений являются возмущения, действующие на подвижной состав со стороны пути. Для их описания могут быть использованы данные, полученные как в ходе эксперимента непосредственно на исследуемом опытном образце, так и в результате исследований, проведенных ранее. При таком описании возмущений существенную роль играют особенности подвижного состава, на котором выполнялась регистрация возмущающих факторов (конструкция, параметры, нагруженность опытного образца). Поэтому использование возмущений, полученных на одном опытном образце, нельзя признать вполне корректным для исследования динамических свойств другого образца.

В ходе проведения динамических расчетов в качестве описания возмущений, действующих на подвижной состав со стороны пути, обычно задают либо некоторую детерминированную неровность, либо усредненную спектральную характеристику неровностей отрезка пути. При этом практически не учитывается изменчивость возмущений, действующих со стороны пути в реальных эксплуатационных условиях, и, как следствие, в результате выполненных расчетов получают усредненные значения динамических показателей без учета их возможного разброса, связанного с изменчивостью реальных возмущений. Учет влияния изменчивости возмущений, действующих на подвижной состав в реальных условиях эксплуатации, необходим для получения более объективных оценок его свойств.

Результаты.

Экспериментальными данными, используемыми в настоящих исследованиях, являлись записи вагона-путьеизмерителя КВЛ-П 2,0. Показатели вагона-путьеизмерителя регистрировались под нагрузкой 64 т (16 т на ось) и описывали геометрию неровностей пути в плане, профиле и по уровню.

В вагоне-путьеизмерителе КВЛ-П 2,0 измерение геометрии пути по уровню производится одной колесной парой тележки, а измерение просадок – обеими колесными парами ходовой тележки вагона, расположенной под аппаратным отделением путьеизмерителя. Причем величина просадок определяется для каждой рельсовой нити в отдельности, т.е. правые колеса замеряют просадки по правой нити, а левые колеса – по левой нити [1; 2].

Просадки пути, измеряемые путьеизмерительным вагоном КВЛ-П 2,0, представляют собой первую разность положения рельсовых нитей в профиле, измеренную на базе тележки вагона – 2,7 м (рисунок 1). Имея передаточную функцию системы W_{np} , по спектру первых разностей, можно восстановить спектр неровностей в областях частот, где значения коэффициентов усиления передаточной функции находятся в ограниченных пределах (согласно [3;4], при $W_{np} < 3$). Таким образом, для получения спектра вертикальных неровностей надо определить передаточную функцию измерительной системы. Решение этой задачи приведено в работе А.Я. Когана [3], модуль частотной характеристики системы

описывается выражением:

$$|W_{\text{ис}}| = \frac{1}{\sqrt{2\left(1 - \cos \frac{2\pi}{l_i} L\right)}}, \quad (1)$$

где L – база тележки вагона (2,7 м);

l_n – длина исследуемой неровности.

Вид передаточной функции W_{np} , приведенной на рисунке 1, показывает, что измерительная система более чувствительна при регистрации вертикальных неровностей, длины которых соизмеримы с базой измерительной тележки. Система позволяет достаточно точно получать спектры неровностей длиной от 0,6 м до 54 м за исключением точек разрыва и их окрестностей при $|W_{np}| < 3$. Дополнительные исследования, проведенные в ходе выполнения диссертационной работы, показали, что для решения определенного круга задач (связанных с аппроксимацией кривой спектра при построении его модели) следует задаваться областями частот, в которых $|W_{np}| < 2$.

При регистрации геометрии неровностей пути в плане измерения стрел прогиба в вагоне-путеизмерителе КВЛ-П 2,0 производится для каждой рельсовой нити с помощью трех датчиков-роликов, размещенных по конструктивным соображениям на ходовых тележках вагона. Два из них установлены на задней тележке, а один – на передней. Вследствие этого механизм имеет несимметрическое расположение среднего измерительного датчика-ролика относительно крайних, и измерение стрелы прогиба рельсовой нити в плане производится (рисунке 2) не по середине хорды G , а на расстоянии g_1 от заднего измерительного датчика-ролика.

Перемещение среднего измерительного датчика-ролика относительно двух крайних позволяет определить величину стрелы прогиба рельсовой нити по уравнению:

$$f = y - \frac{x(G - g_1) + Zg_1}{G}, \quad (2)$$

где f – стрела нагиба рельсовой нити от хорды G , измеренная на расстоянии g_1 от заднего измерительного ролика;

y – расстояние, на которое перемещается средний измерительный датчик-ролик;

x, z – расстояния, на которые перемещаются крайние измерительные датчики-ролики.

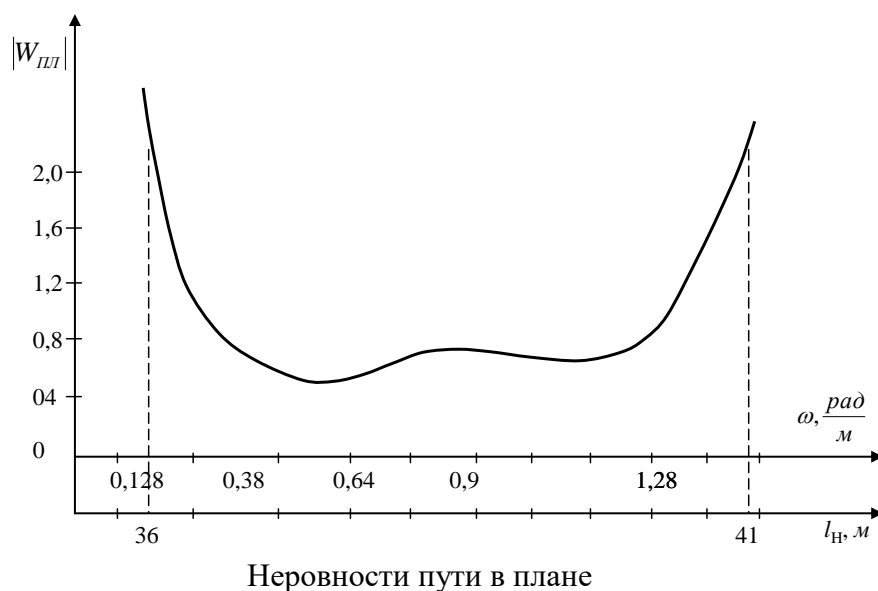
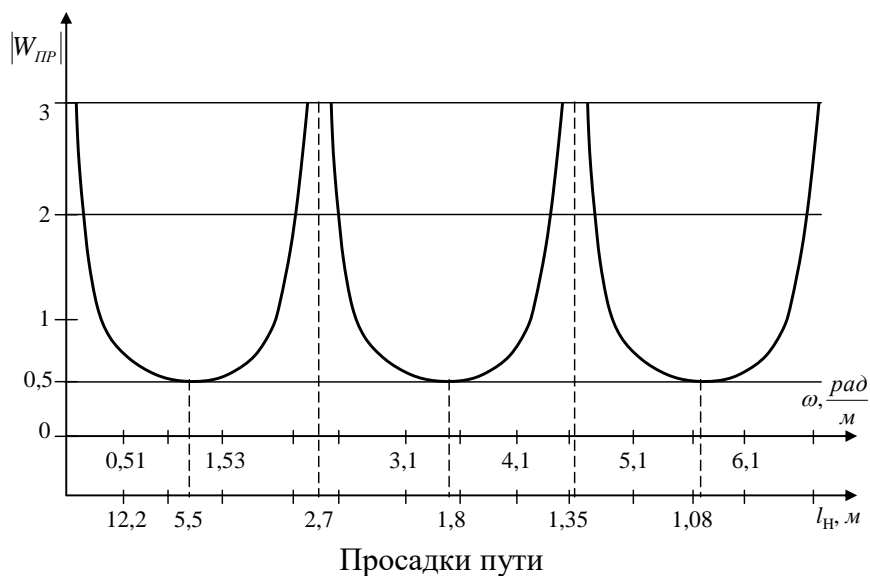


Рисунок 1 – Передаточные функции измерительных систем вагона-путеизмерителя КВЛ-П 2,0

При таком методе измерения неровностей пути в плане передаточная функция системы измерений определяется следующим образом:

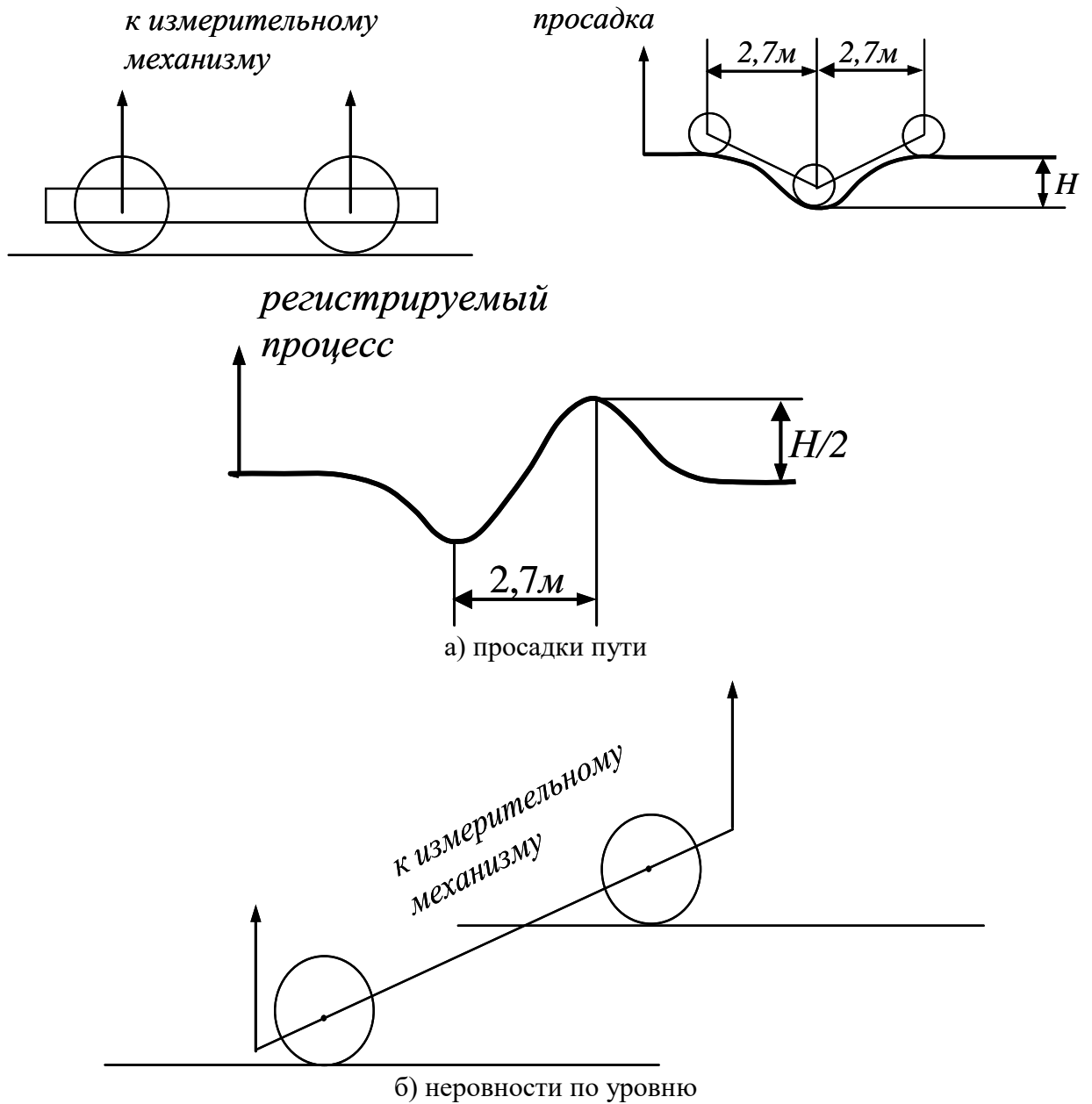
$$|W_{np}| = \sqrt{u^2 + V^2}, \quad (3)$$

$$u(\omega) = \frac{G^2 - Gg_1 \cos \omega g_2 - Gg_2 \cos \omega g_1}{-2Gg_2 \cos \omega g_1 + G^2 + g_1^2 + g_2^2 + 2g_1g_2 \cos \omega G - 2Gg_1 \cos \omega g_2}, \quad (4)$$

$$V(\omega) = \frac{Gg_1 \sin \omega g_2 - Gg_2 \sin \omega g_1}{G^2 + g_1^2 + g_2^2 + 2g_1g_2 \cos \omega G - 2Gg_1 \cos \omega g_2 - 2Gg_2 \cos \omega g_1}, \quad (5)$$

где $g_2 = G - g_1$.

Вид передаточной функции $|W_{np}|$ приведен на рисунке 2.



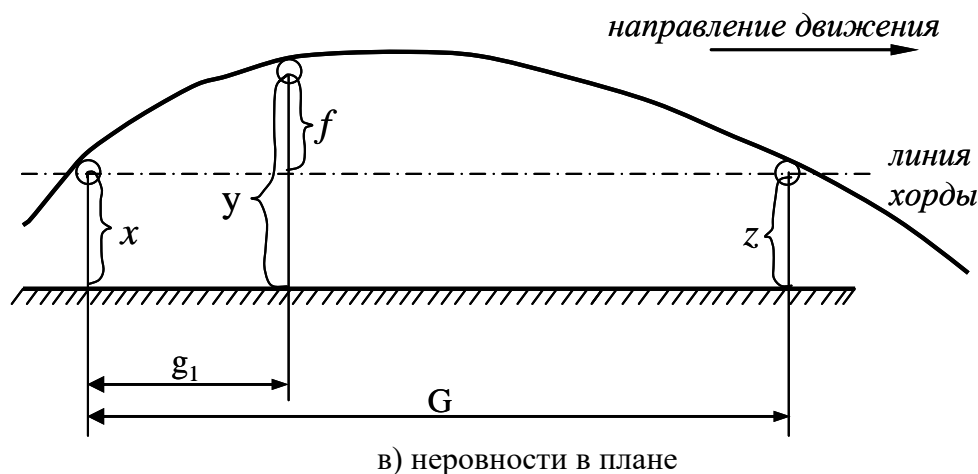


Рисунок 2 – Измерение геометрических параметров неровностей пути вагоном-путьеизмерителем КВЛ-П 2,0

Геометрические параметры неровностей пути, измеряемые вагоном-путьеизмерителем КВЛ-П 2,0, записывались на CD диски или флеш-накопители. В ходе проведенных испытаний были зарегистрированы геометрические параметры 600 отрезков пути общей протяженностью более 1000 км. Экспериментальные данные представляли отрезки пути, находящиеся как в хорошем и удовлетворительном, так и в неудовлетворительном состояниях.

Обсуждение.

Обобщая результаты экспериментальных исследований, можно сделать следующие выводы:

- разработан новый класс моделей (авторегрессии) для описания возмущений, действующих на подвижной состав со стороны пути;
- определены области значений параметров этих моделей; исследованы особенности моделей при различном состоянии пути;
- разработаны новые методики моделирования возмущений в частотной и временной областях, основанные на вероятностном описании возмущений;
- построены усредненные спектральные плотности вертикальных неровностей, характерные для различных конструкций пути;
- разработаны методики автоматического выделения, оценки и классификации возмущений на базе бортовой ЭВМ вагона-лаборатории при проведении экспериментальных научно-исследовательских работ.

Заключение.

Применение методов автоматического выделения, оценки и классификации возмущений на базе бортовой ЭВМ вагона-лаборатории, разработанных в работе, способствует повышению достоверности и оперативности получения результатов при проведении динамико-прочностных испытаний нового подвижного состава. Возможность получения более достоверной информации при исследовании динамических свойств нового подвижного состава на этапе его проектирования, сокращение объема необходимых экспериментальных исследований, уменьшение времени доводки конструкции нового подвижного состава до серийного выпуска определяют техническую и экономическую эффективность от использования результатов, полученных в работе.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вэйген М. Непосредственная оценка геометрии пути с помощью бортовых ЭВМ путеизмерительных поездов // Ж. д. мира. – 1983. – № 10. – С. 60-66.
- [2] Бурчак Г.П. Колебания неподрессоренной массы, движущейся по рельсу со случайной геометрической неровностью//Исследование динамики прочности электроподвижного состава: сб. науч. тр. / МИИТ. – 1971. – Вып. 374. –С. 194-212.
- [3] Камаев А.А., Герасимов В.А., Никитин С.В. Экспериментальное определение плотности перемещений букс узкоколейного пассажирского вагона // Вопр. транспорт. машиностроения. – Тула: Изд-во ТПИ, 1980. – С. 86-89.
- [4] Коган А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь // Сб. науч. тр. / ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1963. – Вып. 402. – 206 с.
- [5] М.Я. Квашнин, И.С. Бондарь, С.Б. Кыстаубаев. Взаимодействие подвижного состава с балочными пролетными строениями железнодорожных мостов ҚазККА Хабаршысы No 4(115), 2020 – С. 10-16

Сейдулла Абдуллаев, т.ғ.д., профессор, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан, Seidulla@mail.ru

Бақытжамал Дүйсембаева, докторант, Л.Н. Гумилев. Атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан sharipovna27@mail.ru

Ғабит Бақыт, PhD, қауым.профессор, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан, gaba_b@bk.ru

ЖОЛ КЕДІР-БҰДЫРЛАРЫНЫҢ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН ӨЛШЕУ ЖӘНЕ ТІРКЕУ ӘДІСТЕРІ

Аңдатпа. Осы жұмыс темір жол жылжымалы құрамының динамикалық жүктелуін есептеу үшін жол жағынан жылжымалы құрамға әсер ететін бұзылулардың модельдерін әзірлеуге, сондай-ақ оларды вагон-зертхананың борттық ЭЕМ базасында автоматты режимде бұзылуларды жіктеу міндеттерін шешу үшін қолдануға арналған. Бұл жағдайда жол жағынан жылжымалы құрамға әсер ететін бұзылуларды жіктеу қажет, және бұл мәселені шешу детерминистік бұзылуларды сипаттау жағдайында да, бұзылулардың спектрлік көрінісі үшін де орындалуы керек. Вагон-өлшеуішпен тіркелген сигнал спектрі бойынша кездейсоқ тік кедір-бұдырлардың амплитудасын бөлуді бағалаудың осы әдістемесін қолдану, жолдың жай-күйін жіктеу және жол мен жылжымалы құрамның өзара іс-қимыл динамикасының көрсеткіштері негізінде кедір-бұдырларды жіктеу ережелері.

Түйінді сөздер. Теміржол жолы, жолдың кедір-бұдырлығы, бұзылуларды бағалау және жіктеу, борттық вагон-зертхана.

Seidulla Abdullayev, doctor of historical sciences, professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, Seidulla@mail.ru

Bakytzhamal Duisembayeva, doctoral student, L.N. Gumilev. Atyndagy EEU, Nur-Sultan, Kazakhstan sharipovna27@mail.ru

Gabit Bakyt, PhD, associate professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan, gaba_b@bk.ru

METHODS OF MEASUREMENT AND REGISTRATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF PATH IRREGULARITIES

Abstract. This work is devoted to the development of models of disturbances acting on rolling stock from the side of the track to calculate the dynamic loading of railway rolling stock, as well as their application to solve problems of classification of disturbances in automatic mode on the basis of the on-board computer of the laboratory car. At the same time, it is necessary to classify the disturbances acting on the rolling stock from the side of the track, and the solution of this problem must be performed both for the case of describing deterministic irregularities and for the spectral representation of irregularities. The application of this methodology for estimating the distribution of amplitudes of random vertical irregularities along the spectrum of the signal recorded by the track-measuring car, the classification of the state of the track and the rules for the classification of irregularities based on the dynamics of the interaction of the track and rolling stock.

Keywords. Railway track, track irregularities, evaluation and classification of disturbances, on-board laboratory car.
