

УДК 629.423:621.331.02

DOI 10.52167/1609-1817-2022-123-4-96-104

С.С.Абдуллаев<sup>1</sup>, Б.Ш. Дүйсембаева<sup>2</sup>, А.С. Абдуллаева<sup>3</sup>, Е.Н. Аскенов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

<sup>3</sup>Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

E-mail: Seidulla@mail.ru

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

**Аннотация.** Стыковые неровности представляют собой одну из составляющих возмущений, действующих на подвижной состав со стороны железнодорожного пути. Необходимость изучения особенностей стыковых неровностей возникает в ходе решения ряда исследовательских задач: при оценке динамико-прочностных, ходовых свойств нового подвижного состава, при оценке состояния железнодорожного пути и пр. Решение этих и ряда других задач требует построения модели стыковых неровностей и изучения его особенностей. Поэтому задача построения модели стыковой неровности является актуальной и имеющей важные практические применения.

**Ключевые слова.** Железнодорожный путь, модели стыковой неровностей, экспериментальных записей просадок пути, вагона-лаборатории КВЛ-П 2,0.

### Введение.

В нынешнем мире в обстоятельствах повышения перевозочного движения делается важным проблема о переходе в прогрессивные концепции единой диагностики инфраструктуры металлических путей, предоставляющий реализовывать сущность предметов вместе с учётом их практического капиталом, то что гарантирует рациональное расходование вещественных и трудящийся ресурсов.

Потребность формирование высокоскоростного и скоростного движения поездов, строительство новейших ЖД путей потребует существенных дополнительных инвестиций. Один из ориентиров инноваторского развития железнодорожной сферы считаются необходимым условия к безотказности, эксплуатационной готовности, ремонтпригодности и безопасности, в главную очередь ее инфраструктуры.

Поэтому на сегодняшний день становится только важным гарантировать развитие инфраструктуры, ее соотношение абсолютно всем техническим требованиям условиям в обстоятельствах узкого финансирования из-за счет оптимального нахождения, опирающегося на практическое положение инфраструктуры железных путей.

В данной взаимосвязи особенную важность и значимость обретают абстрактные и фактические проблемы изучение динамических свойств в периоды проектирования новейших либо модернизации имеющихся видов подвижного состава. Вместе с учетом влияния соблюдения норм воздействия на путь экипажной части эти вопросы можно успешно решить, если использовать самые современные методы анализа и синтеза динамических систем, широко использовать при этом как вычислительный, так и натуральный эксперимент [2] с применением современных ЭВМ и регистрирующей измерения неровности в вагоне-путьеизмерителе КВЛ-П 2,0.

### Материалы и методы.

Тип экипажа характеризуется набором характеристик: инерционные свойства (массы единичных тел и их факторы инерции), свойства компонентов сочетаний (жесткости и показатели демпфирования), геометрические масштабы.

В процессе движения экипажа согласно рельсовому пути образуются свободные и вынужденные колебания.

Потребность исследования независимых сомнений появляется присутствие переходных (неустановившихся) системах перемещения. К примеру, доступ единичной выпуклости дороге, доступ в искривленную, вывод с искривленной, внезапное перемена профиля дороге, атака в стыке рельса, столкновение экипажей и т.д. Диссипативные свойства подвижного состава ЖД путей такие, то что свободные колебания стремительно затухают. Возмущения, инициирующие принуждённые раскачивания, возможно, поделить в три типа: кинематические, силовые и параметрические. Согласно к обстоятельствам деятельность тягового подвижного состава в качестве кинематических возмущений выступают геометрические неровности пути в профиле и плане, неровности на поверхности катания колеса; в качестве силовых – тяговый момент, периодические силы от дисбаланса вращающихся частей дизелей, электрических машин, компрессоров. Параметрические возмущения обусловлены изменениями какого-либо параметра системы.

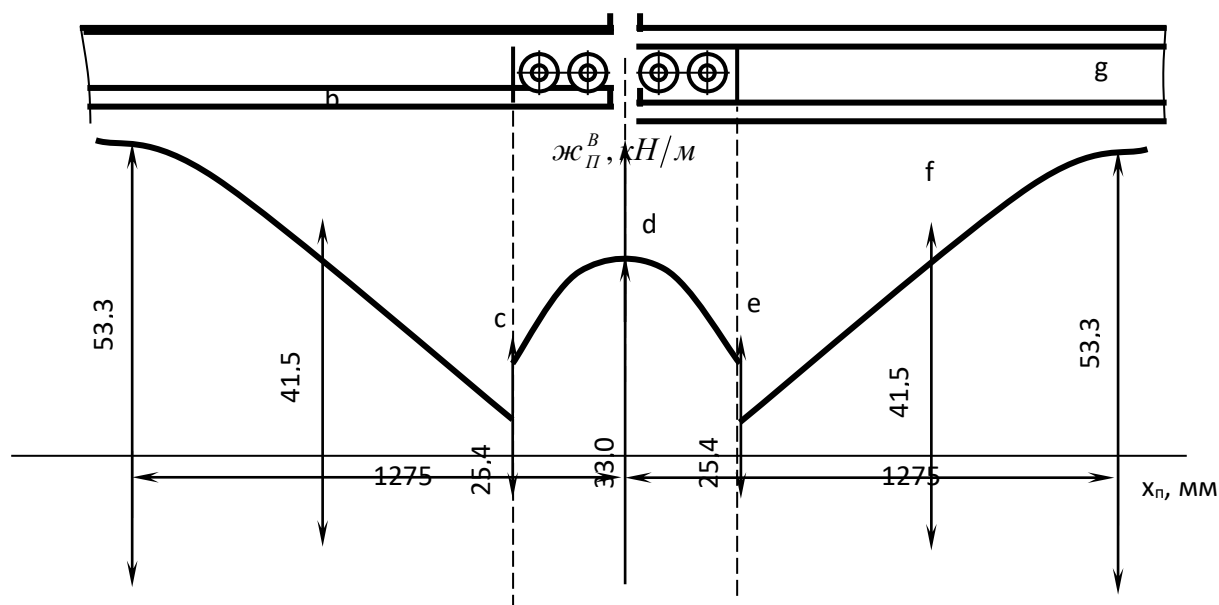


Рисунок 1 - Изменение жесткости пути вблизи стыка рельсов

То, что затрагивает параметрического возмущения, в таком случае воздействие выражается в изменении жесткости пути согласно его протяженности. Согласно грани приближения к стыку вертикальная прочность пути снижается (рисунок 1). Именно этообладает минимальное значение при стыка рельсов – точки *c* и *e*. В центре стыка *c* из-за присутствия накладки нагрузка переходитв два рельса и прочность несколько разповышается – точка *d*. В рисунке 1 представлены средние значения жесткости и посредственная протяженность стыковой неровности, одинаковая приблизительно 2,55м. В зимнее период прочность ЖД пути способен увеличиваться, в этом количестве и в одностыковой области, в 2,5 – 3 один раз.

В настоящих обстоятельствах перемены жесткости и диссипативных данных согласно координате пути считается случайным. Они находятся в зависимости с системы пути, системы и качества его обслуживания и ремонта, а также от погодных условий. В типичной доли звена отвесная прочность ЖД пути  $k_{II}^B$  меняется случайно в пределах 30 – 130 кН/мм. В соответствии с данным изменение вертикальной жесткости и параметров диссипации пути согласно его протяженности можно расценивать равно как случайную функцию координат  $X_{II}$ .

С целью облегчения измерения кривой можно применять безопасное и элементарное адаптацию конструкции ЦНИИ в типе скобы с целью промера стрел изгиба кривой (рисунок 2). Набор состоит из измерительной линейки и двух схожих скоб со шнуром.

Оседание - неравномерность рельсовой нити в отвесной плоскости согласно взаимоотношению к посредственному степени. Отличия рельсовых нитей в месторасположении согласно степени с нарицательных нормативов находятся в зависимости с множества условий, более значимыми с каковых считаются: разная уровень уплотнения балласта около шпалами, автоугон дороге, различные масштабы шпал, различная насыщенность износа компонентов верхнего постройки дороге, деструкции главной площадки земельного полотна.

Согласно аналогичность и вместе с гармонической кривой, длина ЖД неравномерности общепринято именовать протяженностью волны и в связи с ее величины, просадки делят в длинноватые (вместе с протяженностью волны наиболее 6 м) и краткие (вместе с протяженностью волны вплоть до 6 м).

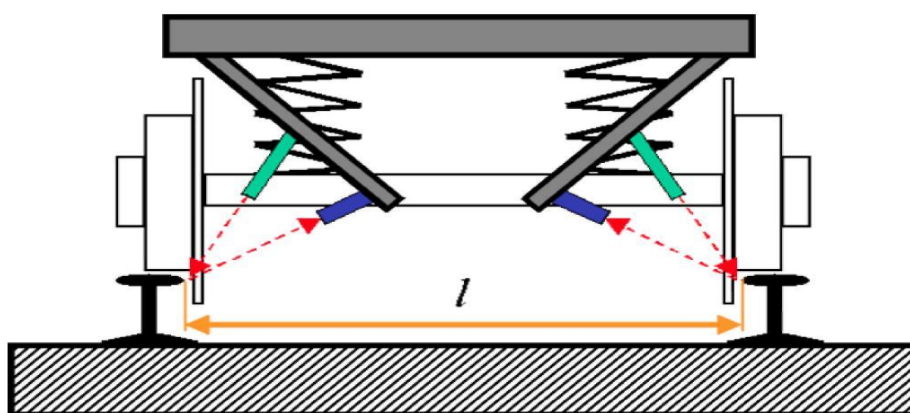


Рисунок 2 - Схема измерения ширины колеи (шаблона)

Строго говоря, процедура появления колебаний в передвигающемся экипаже связан вместе с потребностью изучения нелинейной концепции присутствие параметрических возмущения, так как взаимодействия дороге и подвешивания нелинейно сопряжены вместе с их деформациями. Опытным путем представлено, то что в отвесном течении двух рельсовых подход обладает прочностью, меняющуюся согласно грани увеличения перегрузки, подбора промежутков и сжатия около рельсовых подкладок; прочность сначала невысокая существенно увеличивается, а потом остается почти стабильной, т.д. концепция обретает качества прямолинейной.

В путеизмерительных вагонах обычно применяются две схемы замера просадок: в основе кузова вагона и на базе тележки вагона (рисунок 3). Способ замера просадки в базе вагона подразумевает использование трех измерительных колесных пар. Измеряемое смещение средней колесной пары (букса 4) соответствует смещению рельса относительно хорды, соединяющей две соседние колесные пары. В данном случае размер просадки ( $\Delta h$ ) обуславливается согласно формулировке, подобному с целью рихтовки, и определяет «понижение» либо «повышение» (бугор) касательно точек хорды 3 и 7 точки 4, отстоящей от них на расстояние  $b$  и  $L-b$ , соответственно.

Разность между исходными просадками и результатом их сглаживания показывает, что вследствие сглаживания имеется вероятность пропуска коротковолновых просадок. В установлении просадок хордовыми способами главной замерной информацией считаются сведения системы датчиков, которые определяют вертикальные передвижения колес относительно кузова вагона. Так как измерения характеристик пути совершаются в условиях динамического взаимодействия, то колебания вагона оказывают значительное влияние на процессы, происходящие в контакте

«колесо-рельс», а, следовательно, вносят дополнительную составляющую в показания датчиков «букса-кузов».

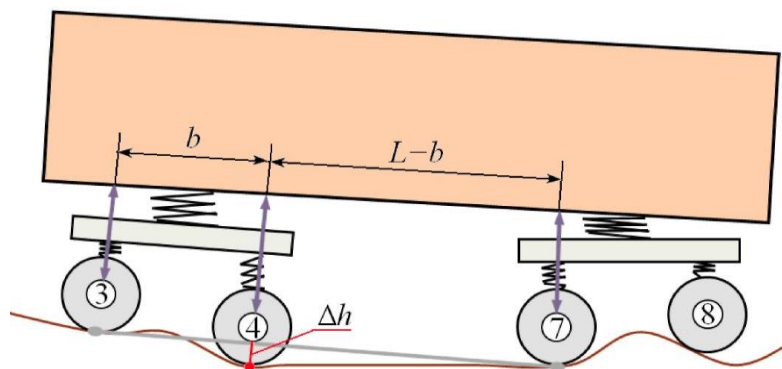


Рисунок 3 – Схема измерения просадки

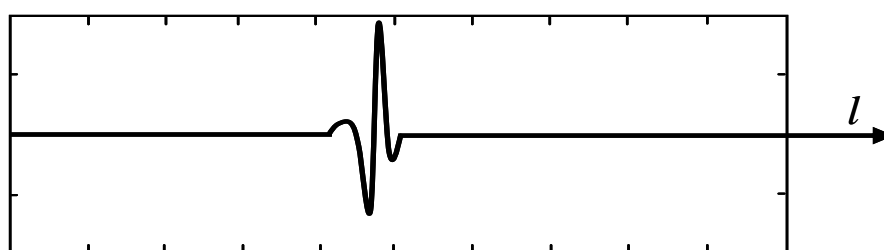
### Результаты.

Однако, особенности измерения неровности в вагоне-путеизмерителе КВЛ-П 2,0 [2] значительно влияют на форму регистрируемых стыковой неровностей, что и определяет необходимость построения новой модели стыковых неровностей.

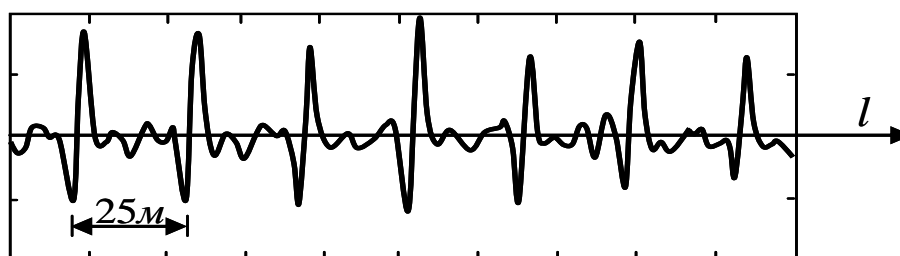
Вагоны КВЛ-П модификаций (контактные) и (бесконтактные) считаются не самодвижущимися, всепогодными Путевыми измерителями, обеспечивающими при рабочих скоростях (до 80 км/ч – КВЛ-П1, до 120 км/ч – КВЛ-П2,0 и до 160 км/ч – КВЛ-П3) контроль и оценку данных геометрии рельсовой колеи:

- 1) Взаимного положения двух рельсовых нитей согласно высоте (уровень).
- 2) Ширины рельсовой колеи (шаблон).
- 3) Стрел изгиба в плане от несимметричной хорды (рихтовка).
- 4) Просадок рельсовых нитей в вертикальной плоскости.

Для построения «портрета» стыковой просадки пути на АСОЭД был обработан массив экспериментальных записей просадок пути с визуальными различными стыковыми просадками (рисунок 4).



а) одиночная стыковая просадка



б) сигнал, регистрируемый вагоном-путеизмерителем

Рисунок 4 – Просадки пути, регистрируемые вагоном-путеизмерителем

В результате выполненного анализа было выделено 100 «портретов» стыковых просадок амплитудами 8-40 мм, усреднение которых позволило построить «обобщенный портрет» стыковой просадки, а также его аналитическое описание (рисунок 5а):

$$\varphi_c^*(l) = \begin{cases} k(-\frac{1}{3}L) & \text{при } l = \overline{0,3} \text{ м} \\ k(-3\frac{2}{9} + \frac{2}{2,7}l) & \text{при } l = \overline{3,5, 7} \text{ м} \\ k(2\frac{9}{10} - \frac{1}{3}l) & \text{при } l = \overline{5,7, 8,7} \text{ м} \end{cases} \quad (1)$$

где  $k$  – положительная константа, не влияющая на форму «обобщенного портрета».

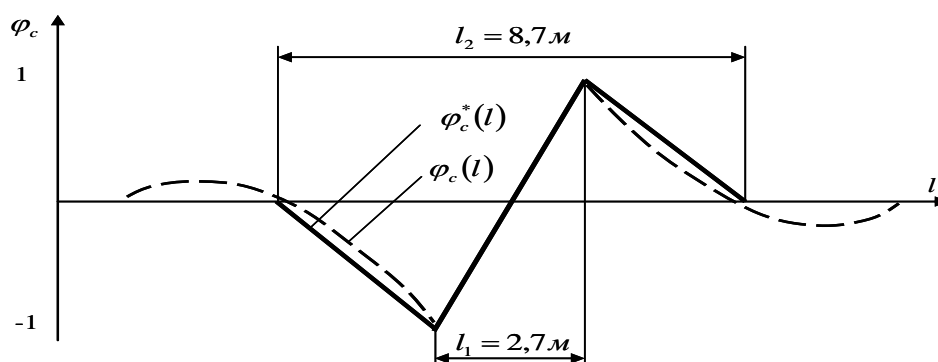


Рисунок 5(а) – «Обобщенный портрет» стыковой просадки

Анализ параметров зарегистрированных стыковых просадок показал, что их период во всех случаях, когда стыковые просадки различимы визуально, составляет  $8,7 \pm 0,2$  м, что соответствует  $6\text{ м} \pm 0,2\text{ м}$  реального железнодорожного пути, так как период просадки, регистрируемой вагоном-путеизмерителем КВЛ-П 2,0 превышает реальную длину вертикальной неровности на величину базы измерительной тележки – 2,7 м (рисунок 5б).

Тот факт, что длины стыковых просадок остаются практически неизменными, может быть интерпретирован следующим образом: рост длины просадки в ходе увеличения её амплитуды происходит лишь при малых значениях амплитуд стыковых просадок; начиная с некоторого значения  $a_{зр} \approx 8\text{ мм}$ , дальнейшее увеличение амплитуды просадки не сопровождается ростом ее длины.

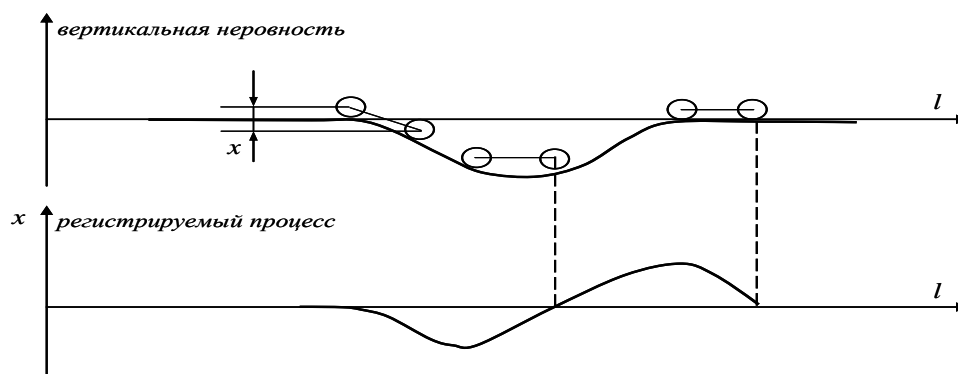


Рисунок 5(б) – Регистрация просадок железнодорожного пути вагоном-путеизмерителем КВЛ-П 2,0

Следует отметить также «боковые лепестки» обобщенного портрета стыковой просадки  $\varphi_c(l)$ . Их длительности и амплитуды изменяются в широком диапазоне значений (рисунок 6) и обусловлены как самой стыковой просадкой, так и нестыковой просадкой ей предшествующей.

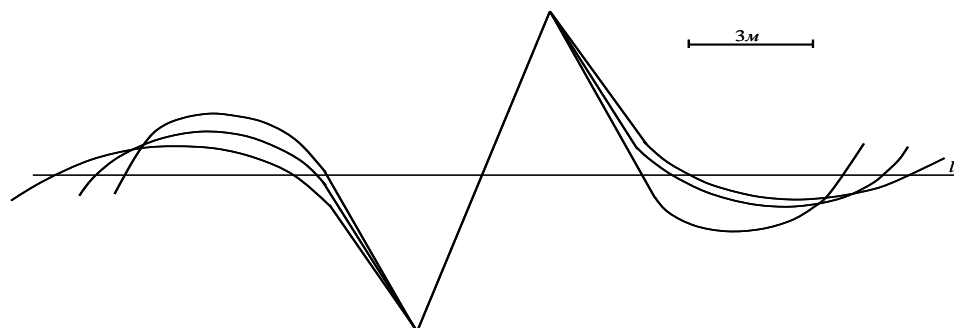


Рисунок 6 – «Боковые лепестки» обобщенного портрета стыковой просадки

Приобретенная форма одностыковой неровности способен являться применена в свойстве одной с элементов восстаний, функционирующих с края пути в динамической структура, присутствие расчетов динамической загруженности подвижного состава железно дорожных путей. Построенный «обобщенный портрет» стыковой просадки может быть применен также для решения задачи выделения и оценки стыковых просадок в сигнале, регистрируемом вагоном-путеизмерителем КВЛ-П 2,0.

Для решения задачи выделения неровностей в зоне стыка рельсов (стыковые просадки), из процесса  $x(l)$ , регистрируемого вагоном-путеизмерителем, может быть применена линейная фильтрация, записываемая следующим выражением

$$y(l_k) = \int_0^L x(l_k + l)\varphi(l)dl, \quad (2)$$

где  $\varphi(l)$  – некоторая весовая функция;

$L$  – длина анализируемого отрезка процесса.

Как показано в работе J.E. Jackson, R.A. Bradley. Sequential [4], оптимальная весовая функция для выделения полезного сигнала  $V(L)$ , скрытого аддитивной помехой  $b(l)$  в регистрируемом процессе  $x(l)$ , определяется выражением:

$$\varphi(l) = kV(l),$$

где  $k$  – положительная константа.

Для выделения в регистрируемом процессе составляющей заданной формы необходимо выполнить свертку этого процесса с весовой функцией  $\varphi(l)$ , определяемой выражением (3), и анализировать полученные таким образом значения. Появления максимума в процессе свертки соответствует наличию в процессе, поступившем на вход решающего устройства, выделяемого фрагмента.

Выделение стыковых просадок в процессе, регистрируемом вагоном-путеизмерителем, на основе метода, изложенного выше, может быть выполнено следующим образом. Для процесса  $x(l)$  (поступающего на вход решающего устройства)

протяженностью  $L$  вычисляется свертка  $y(l)$  с весовой функцией  $\varphi_c^*(l)$  согласно выражению (формула приводится для варианта дискретного описания процессов):

$$y_i = \sum_{j=1}^{L_1} x_{i+j} \varphi_{cj}^*, \quad j = \overline{0, (L - L_1)}, \quad (4)$$

где  $L_1$  – длина «обобщенного портрета», выраженная в дискретных отсчетах.

В процессе свертки, описываемом массивом  $Y = \{y_j\}$ , выделяется семейство максимумов –  $Y_1 = \{y_i^{\max}\}$  – каждому, из которых соответствует наличие просадки в окрестности  $i$ -й точки исследуемого процесса ( $x_i$ ), так как форма просадки, характерная для обычной неровности, близка к «обобщенного портрету» стыковой просадки (рисунок 5). Небольшие отклонения форм реальных стыковых просадок от «обобщенного портрета» ведут к уменьшению соответствующего значения  $y_c^{\max}$ , но, при невысоком уровне зашумления выделяемой просадки, значения максимумов, соответствующих стыковым просадкам –  $y_c^{\max}$  – остаются больше значений максимумов, соответствующих нестыковым просадкам –  $y_H^{\max}$ . Решение о принадлежности просадки к стыковым может быть принято по условию:

$$y_c^{\max} > h, \quad (5)$$

где  $h$  – заданное пороговое значение.

### **Обсуждение.**

Обобщая результаты экспериментальных исследований, можно сделать следующие выводы: использование усовершенствованных моделей возмущений в расчетах на этапе проектирования нового подвижного состава позволит получить более достоверные результаты, что способствует сокращению объема необходимых экспериментальных исследований, а, следовательно, уменьшению времени доводки новой конструкции до серийного выпуска. Разработанные вероятностные модели возмущения позволят на этапе проектирования также производить ресурсные (вибрационные) испытания элементов (узлов) конструкции на стендах, не дожидаясь изготовления всего экипажа и получения результатов его испытаний, что также способствует экономии времени на доводку разрабатываемой конструкции.

### **Заключение.**

Таким образом, для выделения стыковой просадки в процессе, регистрируемом вагоном-путеизмерителем, необходимо определить ее «портрет», который и будет являться оптимальной весовой функцией  $\varphi(l)$ . Для выполнения периодически повторяющихся стыковых просадок весовая функция  $\varphi(l)$  будет представлять собой процесс, в котором с периодом, равным длине рельсового звена, будут следовать «портреты» стыковых просадок.

Использование способов автоматического отделения, оценки и систематизации возмущений в основе бортовой электронно-вычислительная машина вагона-лаборатории, созданных в статье, содействует увеличению правдивости и своевременности извлечения итогов присутствии проведении динамико-прочностных тестирований новейшего

мобильного состава. Вероятность извлечения наиболее надёжной данных присутствие изыскании динамических качеств новейшего мобильного состава в периоде его проектирования, снижение размера требуемых опытных изучений, снижение периода доводки системы новейшего мобильного состава вплоть до серийного выпуска устанавливают техническую и финансовую результативность с применения итогов, приобретенных в статье.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Динамические силы на подвижном составе и в пути: сб. науч. тр.// под ред. М.Ф. Вериги, Л.О. Грачевой. – М.: Транспорт, 1976. – Вып. 549. – 93 с.
- [2] Высокоскоростной путеизмеритель // Путь и путевое хоз-во. – 1977. – № 9. – С. 46-47.
- [3] ИПС ПРИМА: Пакет прикладных программ для микро-ЭВМ «Искра-226»//Т. Бабаян и др. – М.: МЦНТИ, 1985. – Вып. 28. – С. 148-183.
- [4] Барра Ж.Р. Основные понятия математической статистики. – М.: Мир, 1974. – 275 с.
- [5] Вэйген М. Непосредственная оценка геометрии пути с помощью бортовых ЭВМ путеизмерительных поездов // Ж. д. мира. – 1983. – № 10. – С. 60-66.
- [6] Бурчак Г.П. Колебания неподдресоренной массы, движущейся по рельсу со случайной геометрической неровностью // Исследование динамики прочности электроподвижного состава: сб. науч. тр.//МИИТ.–1971.–Вып.374.– С. 194-212.
- [7] Коган А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь // Сб. науч. тр. / ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1963. – Вып. 402. – 206 с.
- [8] Определение естественных режимов железнодорожных путепроводов //С. Абдуллаев, Г.Бакыт. М. Акимбеков. И.Бондарь, Ю. Ауесбаев//Журнал прикладных исследований и технологий, 2021, 19(1), стр. 1-10, ISSN: 1665-6423
- [9] Определение допустимой скорости движения локомотивов KZ4AC, KZ8A, TE33A на железнодорожных путях Республики Казахстан. С. Абдуллаев, Токмурзина Н., Бакыт Г. //Журнал «Проблемы транспорта», №1, 2015, стр. 25-35.

**Сейдулла Абдуллаев**, т.ғ.д., профессор, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, Seidulla@mail.ru

**Бақытжамал Дүйсембаева**, докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, sharipovna27@mail.ru

**Асель Абдуллаева**, магистр, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан, a.abdullayeva@iitu.edu.kz

**Ерлан Аскенов**, докторант, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, erlan.askenov@gmail.com

## РЕЛЬС ЖОЛЫНЫҢ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ӨЛШЕУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

**Аңдатпа.** Тараптық кемшіліктерін білдіреді бірін құрайтын кернеу жұмыс істейтін жылжымалы құрам тарапынан темір жол. Бірлескен бұзылулардың ерекшеліктерін зерттеу қажеттілігі бірқатар зерттеу мәселелерін шешуде туындайды: жаңа жылжымалы құрамның динамикалық және беріктік, жүру қасиеттерін бағалау кезінде, теміржол жағдайын бағалау кезінде және т.б. осы және басқа да бірқатар мәселелерді шешу түйіспелік бұзылулардың моделін құруды және оның ерекшеліктерін зерттеуді қажет

етеді. Сондықтан, бөкселердің бұзылу моделін құру міндеті өзекті және маңызды практикалық қосымшаларға ие

**Түйінді сөздер.** Теміржол жолы, түйіспелі кедір-бұдырлардың модельдері, жол отырыстарының эксперименттік жазбалары, квл-п 2,0 вагон-зертханасы.

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

**Bakytzhamal Duisembayeva**, doctoral student, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, sharipovna27@mail.ru

**Asel Abdullayeva**, master's degree, International University of Information Technology, Almaty, Kazakhstan, a.abdullayeva@iitu.edu.kz

**Yerlan Askenov**, doctoral student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, erlan.askenov@gmail.com

## GEOMETRICAL CHARACTERISTICS OF A RAIL TRACK AND TECHNOLOGIES OF THEIR MEASUREMENT

**Abstract.** Butt irregularities are one of the components of the disturbances acting on the rolling stock from the side of the railway track. The need to study the features of butt irregularities arises in the course of solving a number of research tasks: when assessing the dynamic strength, running properties of new rolling stock, when assessing the condition of the railway track, etc. Solving these and a number of other problems requires building a model of butt irregularities and studying its features. Therefore, the task of constructing a model of butt irregularity is relevant and has important practical applications.

**Keywords.** Railway track, models of butt irregularities, experimental records of track subsidence, laboratory car KVL-P 2.0.

\*\*\*\*\*