

СССР — МПС

**ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Аспирант А. Г. ПОЛЕВИЧЕНКО

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ
НИТЕЙ ПО УРОВНЮ НА ХАРАКТЕР ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

2179a

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1964

НТБ
ДНУЖТ

2174а.
Кни: Толубиенко

Исследование бывш
ия помещика револ.

9/IV 82 Ул -

000. 1963 г.

НТБ
ДНУЖТ

СССР — МПС

**ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

5

Аспирант А. Г. ПОЛЕВИЧЕНКО

2174a

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ
НИТЕЙ ПО УРОВНЮ НА ХАРАКТЕР ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель —
доктор технических наук, профессор
М. А. ФРИШМАН

Днепропетровск
1964

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Публичная защита диссертации состоится на заседании Ученого совета по строительно-эксплуатационным специальностям *» в феврале* 1964 г.

Автореферат разослан *« 18 » Января* 1964 г.

Отзывы по настоящему автореферату просьба направлять по адресу:

г. Днепропетровск, 10, Университетская, 2, ДИИТ

Ученому секретарю совета

НТБ
ДНУЖТ

Введение

В Программе Коммунистической партии Советского Союза, принятой XXII съездом, намечено создание материально-технической базы коммунизма в нашей стране. Предусматривается быстрое развитие всех отраслей народного хозяйства.

Железнодорожный транспорт должен обеспечивать быструю и бесперебойную перевозку народнохозяйственных грузов.

В условиях быстрого роста грузонапряженности дорог и скоростей движения поездов при достаточно высоких нагрузках на оси большую актуальность приобретают вопросы взаимодействия пути и подвижного состава.

Характер движения железнодорожных экипажей и размеры воздействия их колес на рельсы во многом зависят от норм и допусков содержания пути. Известно, что некоторые нормы и допуски, установленные еще в тот период, когда скорости движения поездов были невысокими, в современных условиях эксплуатации пути не имеют достаточного обоснования. Действующая система оценки в баллах отступлений от нормального положения рельсовой колеи не учитывает вызванного ими уровня динамического воздействия колес подвижного состава на рельсы.

Диссертационная работа посвящена исследованию влияния положения рельсовых нитей по уровню на характер колебаний и воздействия подвижного состава на путь. В частности рассмотрены вопросы:

1. Влияние постоянного повышения одной рельсовой нити на прямых участках пути на характер горизонтальных колебаний 4-осного вагона;

2. Динамические воздействия колес подвижного состава на рельсы, вызванные отступлениями в содержании рельсовой колеи по уровню (просадками, перекосами) и отводами отступлений разной крутизны;

3. Практические предложения по оценке просадок пути в баллах с учетом динамического воздействия подвижного состава при скоростях движения до 100 км/ч и до 160 км/ч.

1. Состояние вопроса

Еще в конце прошлого столетия на основании опыта эксплуатации русских железных дорог было установлено, что повышение одной рельсовой нити относительно другой на 4 мм в прямых участках пути способствует уменьшению боковых колебаний вагонов.

В последующем целесообразность такого содержания рельсовых нитей по уровню в прямых отмечалось в статьях ряда авторов. При-

чем их суждения по данному вопросу основывались на эксплуатационных наблюдениях.

Первое экспериментальное исследование было выполнено проф. М. А. Фришманом в 1947 г. при изучении влияния паровоза серии Л. В результате установлено, что при наличии возвышения одной рельсовой нити над другой амплитуды влияния I-ой оси паровоза уменьшаются.

В официальных же документах по устройству и содержанию пути о возможности такого содержания рельсовой колеи в прямых ничего не говорилось. Только в 1952 г. ПТЭ было разрешено на прямых длиной не менее 500 м содержание одной нити на 4 мм выше другой. В ПТЭ (1959 г.) записано (§25): «Верх головок рельсов обеих нитей пути на прямых участках должен быть в одном уровне. Разрешается на прямых участках пути на всем протяжении каждого из них содержание одной рельсовой нити на 4 мм выше другой».

В послевоенные годы широкое распространение на сети дорог получили локомотивы и вагоны с тележечной экипажной частью. Известно, что при движении тележечные экипажи подвержены интенсивному влиянию.

В диссертационной работе исследовано влияние постоянного повышения одной рельсовой нити в прямых на колебания такой массовой единицы подвижного состава, как 4-осный вагон на тележках ЦНИИ-ХЗ-0.

При контроле содержания пути путеизмерительными вагонами отступления по уровню сверх установленного допуска ± 4 мм считаются неисправностями и, в зависимости от их геометрического очертания и размеров, оцениваются определенным числом баллов по утвержденным нормам. Однако эти нормы, как неоднократно отмечалось в литературе (Н. Н. Кудрявцев, М. А. Чернышев, О. П. Ершков, Л. В. Андреев, Г. А. Володько и др.), не учитывают динамического воздействия подвижного состава на путь.

Просадки и перекосы представляют собой неровности пути в вертикальной плоскости. Исследованию воздействия колес подвижного состава на путь при движении по неровностям на рельсах посвящено большое число работ. В то же время не было сделано сколько-нибудь полного исследования динамических сил от колес различных экипажей на просадках и перекосах в зависимости от скорости движения.

2. Теоретические исследования колебаний вагона, движущегося по прямому участку пути с постоянным повышением одной рельсовой нити над другой

При исследовании колебаний вагона считалось, что рельсовые нити являются идеально ровными. Повышение одной рельсовой

нити над другой приводит к тому, что на вагон действует возмущающая сила, направленная в сторону пониженной нити.

Прежде чем исследовать колебания вагона при действии возмущающей силы, необходимо знать характеристики его собственных свободных колебаний (частоты, декременты затухания и инкременты нарастания колебаний), по которым можно судить об устойчивости движения вагона при разных скоростях.

Исследованию устойчивости движения локомотивов посвящены работы: В. А. Лазаряна, В. Б. Медея, М. А. Фришмана, Т. А. Тибилова, М. Л. Коротенко, Н. А. Ковалева, Картера, Рокарда и др.

Метод исследования собственных колебаний тележечных вагонов рассмотрен проф. В. А. Лазаряном. Им получены дифференциальные уравнения движения вагона как динамической системы с восемью и десятью степенями свободы. При составлении уравнений считалось, что вагон движется по гладкому и однородно-упругому пути в вертикальной плоскости. Боковая упругость рельсовых нитей не учитывалась.

Н. А. Ковалев и Т. А. Тибилев в своих исследованиях показали, что боковая упругость пути создает благоприятные условия устойчивости движения экипажей.

В диссертации вагон рассматривается как динамическая система с десятью степенями свободы. Для составления дифференциальных уравнений колебаний вагона использовались уравнения Лагранжа второго рода. При этом учитывались упругие отжатия рельсовых нитей каждой осью вагона, рассеивание энергии вертикальных колебаний кузова вагона в клиновых амортизаторах, наличие постоянного превышения одной рельсовой нити над другой.

При определении обобщенных сил, действующих в плоскости контакта колес с рельсами, как и в исследованиях указанных выше авторов, использована теория псевдоскольжения, предложенная Картером.

Упругие отжатия рельсовых нитей входят в выражения относительных проскальзываний колес по рельсам.

Для колес первой оси тележки они имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= -s \frac{d\varphi_{z1}}{dx} - \frac{i}{r} (y_1 - y_{01} + a\varphi_{z1}), \\ \varepsilon_2 &= s \frac{d\varphi_{z1}}{dx} + \frac{i}{r} (y_1 - y_{01} + a\varphi_{z1}), \\ \eta_1 = \eta_2 &= a \frac{d\varphi_{z1}}{dx} + \frac{dy_1}{dx} - \frac{dy_{01}}{dx} - \varphi_{z1}. \end{aligned} \quad (1)$$

где $\epsilon_2 = -\epsilon_1$ — относительные проскальзывания колес по направлению продольной оси вагона; $\eta_{11} = \eta_2$ — то же, по направлению горизонтальной поперечной оси; i — уклон конического бандажа; r — радиус его среднего круга катания; $2s$ — расстояние между кругами катания колес каждой колесной пары; a — расстояние от центра поворота тележек до осей колесных пар; Y_1 — относительное отжатие двух рельсовых нитей первой колесной пары; φ_{21} — угол поворота тележки вокруг вертикальной оси; Y_{01} — отжатие двух рельсовых нитей первой колесной пары.

Выражения относительных проскальзываний для колес второй оси получаются из приведенных выше, заменой Y_{01} на Y_{02} и в выражении для η заменой знака у первого члена.

Движение вагона характеризуется следующими дифференциальными уравнениями:

$$A_{11} q''_1 + B_{11} q'_1 + c_{11} q_1 = 0.$$

$$A_{22} q''_2 + B_{22} q'_2 + c_{22} q_2 = 0, \quad A_{10\ 10} q''_{10} = 0 \quad (2)$$

$$A_{33} q''_3 + B_{33} q'_3 + c_{33} q_3 + c_{34} q_4 + c_{36} q_6 = 0$$

$$A_{44} q''_4 + c_{44} q_4 + c_{34} q_3 + c_{16} q_6 + d_{40} = 0$$

$$A_{66} q''_6 + n_{66} q'_6 + c_{36} q_3 + c_{66} q_6 + c_{46} q_4 +$$

$$+ n_{68} q_8 + n_{6\ 11} q_{11} + n_{6\ 13} q_{13} + d_{60} = 0 \quad (3)$$

$$A_{88} q''_8 + n_{88} q'_8 + f_{88} q_6 + n_{8\ 11} q_{11} + n_{8\ 13} q_{13} = 0,$$

$$h_{11\ 11} q'_{11} - f_{11\ 6} q'_6 - l_{11\ 8} q'_8 + f_{11\ 8} q_8 + c_{11\ 11} q_{11} = 0.$$

$$h_{13\ 13} q'_{13} + f_{13\ 6} q'_6 + l_{13\ 8} q'_8 + f_{13\ 8} q_8 + c_{13\ 13} q_{13} = 0.$$

$$A_{55} q''_5 + c_{55} q_5 + c_{57} q_7 = 0$$

$$A_{77} q''_7 + n_{77} q'_7 + c_{57} q_5 + c_{77} q_7 + n_{79} q_9 +$$

$$n_{7\ 12} q_{12} - n_{7\ 14} q_{14} = 0$$

$$A_{99} q''_9 + n_{99} q'_9 + f_{97} q_7 + n_{9\ 12} q_{12} + n_{9\ 14} q_{14} = 0$$

$$h_{12\ 12} q'_{12} + f_{12\ 7} q'_7 + l_{12\ 9} q'_9 - f_{12\ 9} q_9 + c_{12\ 12} q_{12} = 0,$$

$$h_{14\ 14} q'_{14} + f_{14\ 7} q'_7 - l_{14\ 9} q'_9 - f_{14\ 9} q_9 + c_{14\ 14} q_{14} = 0. \quad (4)$$

где q_i — обобщенные координаты системы;
 q_i' и q_i'' — первая и вторая производные обобщенных координат по пути (x);
 d_{40} и d_{60} — свободные члены уравнений, учитывающие действие возмущающей силы при возвышении одной рельсовой нити над другой.

Коэффициенты A, B, c, f, l, n и h с соответствующими индексами зависят от параметров динамической системы. Кроме того, $A, B, n,$ и h зависят от скорости движения.

Системы уравнений (3) и (4) не связаны между собой. Исследование колебаний вагона по полученным дифференциальным уравнениям выполнялось на электронной вычислительной машине «Урал-1».

Собственные колебания рассматривались при скоростях движения 20, 30 и 40 м/сек. Для этого по методу, основанному на идее окаймления матриц, были раскрыты определители систем (3) и (4); и получены характеристические уравнения вида:

$$p_0 \lambda^k + p_1 \lambda^{k-1} + p_2 \lambda^{k-2} + \dots + p_{k-1} \lambda + p_k = 0 \quad (5)$$

где p_k — вещественные положительные числа;

k — порядок определителя (для системы уравнений (3) $k=10$ и для системы (4) $k=8$).

По методу выделения квадратного множителя (метод Хичкока) получены корни уравнений (5), которые характеризуют собой собственные колебания вагона. Анализ корней показал, что при скорости 20 м/сек (72 км/ч) все они имеют отрицательные вещественные части. Это указывает на то, что при данной скорости колебания вагона имеют затухающий характер (невозмущенное движение устойчивое). При скоростях 30 м/сек (108 км/ч) и 40 м/сек (144 км/ч) одна пара комплексно-сопряженных корней имеет положительные вещественные части. Следовательно, при данных скоростях колебания являются незатухающими и амплитуды в процессе движения могут достигать таких величин, что неизбежно набегающие гребней колес на рельсовые нити (движение неустойчивое).

Для сравнения рассмотрена устойчивость движения вагона на жестком пути. Установлено, что в этом случае при скоростях от 10 до 40 м/сек движение неустойчивое. При учете боковой жесткости одной рельсовой нити равной 1300 кг/мм, что соответствует средней жесткости для пути с рельсами Р50, деревянными шпалами и костыльным промежуточном скреплении, интервал скоростей устойчивого движения вагона включает скорость 20 м/сек.

Колебания вагона на пути с возвышением одной рельсовой нити над другой на 4 мм исследовались при скоростях неустойчивого движения (30 и 40 м/сек). Численное решение систем дифференциальных уравнений по методу Рунге-Кутты при нулевых начальных условиях показало, что и при возвышении колебания относ

и виляния тележек имеют незатухающий характер и совершаются с одинаковым нарастанием амплитуд в обе стороны от среднего положения. При этом неизбежно набегание гребней колес на обе рельсовые нити.

Длины волн горизонтальных колебаний тележек вагона составили 24,4—28,8 м.

По теории псевдоскольжения силы, действующие между колесом и рельсом, линейно зависят от величины относительного проскальзывания. Применимость этой теории при исследованиях колебаний экипажей оправдывается в том случае, когда колеса соприкасаются с рельсами участками бандажей, имеющими коническую обточку с уклоном 1/20. Если при движении экипажа возможно набегание гребней колес на рельсы, то полная картина колебаний может быть получена при учете нелинейной зависимости сил, действующих между колесом и рельсом, от величины относительного проскальзывания. Поскольку такие зависимости еще не установлены, задача решалась в линейной постановке и было исследовано начало процесса колебаний (при малых амплитудах)

3. Экспериментальные исследования горизонтальных колебаний вагона на прямом участке пути с рельсовыми нитями в разном уровне

Опыты по определению амплитуд и длин волн горизонтальных колебаний 4-осного вагона на тележках ЦНИИ-ХЗ-0 выполнялись путепытательной лабораторией ДИИТа при участии автора.

Характеристики колебаний определялись при рельсовых нитях в одном уровне и при возвышениях на 3, 7 и 10 мм. Опытный участок пути имел протяжение 100 м.

Для исследования колебаний была применена киносъемка. Камера специальным устройством крепилась к раме кузова вагона. При заездах со скоростями 20, 40 и 60 км/ч на пленке фиксировалось положение колеса вагона на головке рельса. Для привязки кадров пленки к пути вдоль рельсовой нити снаружи колеи устанавливались таблички через 2 м, которые попадали в кадры. При расшифровке по ним производился отсчет пути в метрах.

С целью установления условий работы двух рельсовых нитей при устройстве постоянного возвышения исследовались распределение давлений между ними и их упругие отжатия. Измерения велись при скоростях 20, 60 и 100 км/ч соответствующими тензометрическими датчиками с записью их показаний на осциллографах типа ОТ-24.

Опыты показали, что при рельсовых нитях в одном уровне величина поперечного перемещения колесной пары при вилянии достигала величины суммарного зазора между гребнями бандажей и рельсовыми нитями (колесная пара попеременно прижималась

гребнями то к одной, то к другой рельсовой нити) Длины волн влияния колебались от 22 до 28 м. Амплитуды изменялись в интервале 8,5—11,0 мм.

Устройство постоянного возвышения одной рельсовой нити приводит к уменьшению амплитуд влияния. Амплитуды для разных волн составляли: при возвышении $h=3$ мм—5,5÷8,2 мм, при $h=7$ мм—3,3 ÷ 7,2 мм и при $h=10$ мм—4,9 ÷ 6,6 мм. Не наблюдалось ни одного случая прижатия гребней колес к повышенной нити.

Если при рельсовых нитях в одном уровне колебания имели четко выраженный периодический характер, то при возвышении одной нити периодичность не соблюдалась. В отдельных местах колесо проходило участки длиной до 15 м в почти прижатом к пониженной нити положении. Зазор между гребнем колеса и рельсом составлял 0—4 мм.

Установлено, что при всех заездах, произведенных в разные дни, волны влияния в каждом конкретном месте пути накладываются одинаковыми фазами.

Исследования показали, что устройство возвышения одной рельсовой нити на прямых до 10 мм не вызывает ухудшения условий работы пониженной нити. Вертикальные давления и упругие боковые отжатия остаются практически такими же, как и при рельсовых нитях в одном уровне.

4. Динамические воздействия колес подвижного состава на рельсы, вызванные вертикальными неровностями пути

В работе изложены результаты теоретического исследования динамических сил, действующих от колес подвижного состава на рельсы при движении по просадкам, перекосам и уклонам отвода отклонений по уровню разной крутизны. Исследования выполнялись на электрических моделях-аналогах.

Рассматривались одиночные просадки и перекосы, очерченные отрезками кривой синусоидальной формы.

Динамические силы определялись при движении следующих единиц подвижного состава: 4-осного вагона на тележках ЦНИИ-ХЗ-0, электровозов ВЛ23, ВЛ60, ЧС1, Ф и тепловозов ТЭЗ, ТЭ7, ТЭ10 и ТЭП60.

При определении воздействия на путь колес вагона рассматривалось движение тележки. Механическая система имеет пять степеней свободы. Вынужденные колебания ее описываются системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned}
 m_1 \ddot{y}'_1 + ж_1 y'_1 + f_1 \dot{y}'_1 - ж_2 (y'_2 - y'_1) &= - ж_2 \eta'(t) \\
 m_1 \ddot{y}''_1 + ж_1 y''_1 + f_1 \dot{y}''_1 - ж_2 (y''_2 - y''_1) &= - ж_2 \eta''(t) \\
 m_2 (y'_2 + \ddot{y}''_2) + ж_2 (y'_2 + y''_2 - y'_1 - y''_1) - ж_3 \left(y_3 - \frac{y'_2 + y''_2}{2} \right) - \\
 f_3 \left(y_3 - \frac{y'_2 + y''_2}{2} \right) &= ж_2 \eta'(t) + ж_2 \eta''(t) \\
 m_3 \ddot{y}_3 + ж_3 \left(y_3 - \frac{y'_2 + y''_2}{2} \right) + f_3 \left(\dot{y}_3 - \frac{\dot{y}'_2 + \dot{y}''_2}{2} \right) &= 0,
 \end{aligned} \right\} (6)$$

где m_1, m_2, m_3 — массы соответственно пути, неподрессоренная и поддрессоренная;

$ж_1, ж_2, ж_3$ — жесткости: пути, контактная и рессоры;

y_1, y_2, y_3 — перемещения масс соответственно m_1, m_2 и m_3 ;

$ж_2 \eta'(t), ж_2 \eta''(t)$ — выражения возмущающих сил ($\eta'(t)$ и $\eta''(t)$ ординаты неровности в момент времени t соответственно под первым и вторым колесом),

f_1 и f — сопротивления, пропорциональные скоростям перемещения масс m_1 и m_3 .

Одним штрихом обозначены параметры, относящиеся к первой оси тележки, двумя штрихами — ко второй оси.

Электрическая система, подобная механической, описанной уравнениями (6), получена по первой системе электромеханических аналогий.

Анализ осциллограмм показал, что колебания колеса второй оси тележки возбуждаются до входа его на неровность, а колебания колеса первой оси после выхода его из неровности имеют большие амплитуды, чем колебания второго колеса. Объясняется это тем, что у тележек с центральным рессорным подвешиванием связь между колесными парами и боковинами жесткая. Колебания колес одной оси через боковину, работающую как равноплечий рычаг, передаются колесам другой оси.

Сравнение дополнительных давлений на путь от колес первой и второй оси показало, что колесо второй оси оказывает большее воздействие, чем колесо первой оси. Разница для неровности длиной

3 м на пути с деревянными шпалами составляет примерно 10%. Максимальное давление от колеса второй оси наблюдается в пределах восходящей ветви неровности, а от колеса первой оси — за пределами неровности.

Иная картина имеет место у локомотивов. Наличие надбуксовых комплектов рессор не позволяет колебаниям колес одной оси тележки передаваться колесам других осей.

Выполненные решения показали, что максимальные давления на путь от колес первой и второй оси тележки электровоза ВЛ8 практически равны между собой. Такие же величины давлений получены и при движении по этой неровности одиночного колеса электровоза ВЛ8 с отнесенными к нему подрессоренными и неподрессоренными массами. Учитывая это, при исследовании воздействия на неровностях пути локомотивов, имеющих упругую связь между колесными парами и рамой тележки, рассматривались расчетные схемы для одиночного колеса. Для локомотивов с одной ступенью рессорного подвешивания принималась механическая система с тремя степенями свободы, а для локомотивов с двумя ступенями рессорного подвешивания — с четырьмя степенями свободы.

Характерной особенностью воздействия локомотивов на путь является то, что до какой-то скорости, определенной для каждой длины неровностей, дополнительные давления возрастают незначительно. При больших скоростях наблюдается интенсивный рост дополнительных давлений за счет быстрого увеличения сил инерции неподрессоренных масс. Так на неровности пути длиной 2 м незначительное возрастание сил имеет место при скоростях до 50—60 км/ч, а на неровности длиной 4 м — при скоростях до 100—120 км/ч.

Воздействие вагона на путь характеризуется тем, что увеличение дополнительных давлений при возрастании скорости происходит более равномерно, чем у локомотивов. Объясняется это тем, что основная часть дополнительного давления на путь вызывается колебанием кузова на рессорах.

Воздействие вагона на неровности длиной 3 м при скорости 100 км/ч такое же, как и локомотивов с неподрессоренной нагрузкой 2 т. На неровности длиной 4 м на пути с деревянными шпалами дополнительное давление от вагона при скорости 100 км/ч равно давлению от электровоза ВЛ23, а на неровностях большей длины превышает давление от ВЛ23.

Исследование дополнительных давлений, вызванных неровностями на пути с деревянными и железобетонными шпалами, показало, что процент возрастания сил на железобетонных шпалах в сравнении с деревянными в зависимости от скорости, длины неровностей и рассматриваемого экипажа изменяется в широких пределах и может достигать 70—80%. Причем у локомотивов разница в

силах на пути с железобетонными и деревянными шпалами больше, чем у вагона. Меньшее влияние жесткости пути на силы дополнительного давления колес вагона в сравнении с локомотивами объясняется тем, что у вагона основная доля давления на путь передается от колебаний кузова, а его колебания не зависят от жесткости пути.

Анализ частот собственных колебаний механических систем показал, что колебания неподрессоренных масс экипажей вместе с массой пути при железобетонных шпалах больше, чем при деревянных. В табл. 1 приведены частоты указанных колебаний в герцах для рассматриваемых экипажей.

Таблица 1.

Род шпал	Подвижной состав							
	Вагон	ВЛ23	ВЛ60	ЧС1	Ф	ТЭ3 ТЭ7	ТЭ10	ТЭ160
деревянные	40	19	21	26,2	22,5	24	26,2	31,2
железобетонные	58	32	33,7	51,5	35,5	37,5	37,7	46,7

Выполненные исследования позволили оценить уровень динамического воздействия подвижного состава на просадках пути разной длины и глубины и определить размеры просадок, на которых динамические силы превышают допускаемые.

Проф. М. Ф. Вериго и кандидат техн. наук С. С. Крепкогорский отмечают (см. сборник трудов ЦНИИ МПС, вып. 248), что действующие на путь от обращающегося в настоящее время подвижного состава вертикальные динамические силы вызывают значительный выход рельсов по контактным разрушениям. Уменьшение его возможно лишь при снижении уровня силового воздействия подвижного состава за счет совершенствования конструкции последнего и конструкции пути. Рекомендуют для проектируемого перспективного подвижного состава следующие допустимые нормы вертикальных динамических нагрузок: 19 т для вагонов с диаметром колес $d=95$ см, 20 т для локомотивов с $d=105$ см и 23 т — с $d=125$ см. Величина допускаемых вертикальных динамических нагрузок от локомотивов с иными диаметрами колес рассчитывается из условий эквивалентности их по контактным напряжениям, установленной нормативной нагрузке от локомотива с диаметром колес 125 см. Для электровозов с диаметром колес 120 см допускаемая динамическая нагрузка равна 22 т.

Если исходить из того, чтобы динамические давления от колес рассматриваемых в работе экипажей не превышали на просадках пути приведенных выше допускаемых давлений, то должно выполняться условие:

$$P_{ст} + P_{ин} + P_{п} + 2,5 S \leq [P_{ин}] \quad (7)$$

где

$$S = \sqrt{0,95 S_{инк}^2 + 0,05 S_{инк}^2}$$

$S_{инк} = 0,225 (\max P_{инк})$ и $S_{инк} = 0,25 (\max P_{инк})$ — определяются по правилам расчета верхнего строения пути на прочность;

$P_{п}$ — вертикальные перегрузы от действия рамных сил (М. Ф. Вериго и С. С. Крепкогорский рекомендуют при конструкционных скоростях движения подвижного состава принимать $P_{п}$ для локомотивов равным примерно 2 т и для вагонов — около 1,6 т);

$P_{ст}$ — статическая нагрузка на колесо;

$P_{ин}$ — дополнительная динамическая нагрузка от колеса на рельс, вызванная колебаниями подрессоренных и неподрессоренных масс экипажа при движении по неровности (просадке) пути

Из условия (7) можно получить величины допускаемых дополнительных динамических нагрузок на просадках пути $[P_{ин}]$ (табл. 2).

Таблица 2.

Подвижной состав	Скорость км/ч	Допускаемые дополнительные давления в т от неровностей на пути с	
		деревянными шпалами	железобетонными шпалами
Вагон	100	5,5	5,0
	120	5,3	4,8
	140	5,1	4,6
ВЛ 23	100	7,0	5,8
ВЛ 60	110	8,0	7,2
ЧС1	120	9,3	9,0
Ф	100	8,4	8,2
ТЭ 3	100	6,1	5,8
ТЭ 7	140	4,8	3,3
ТЭ 10	100	5,2	5,1
ТЭП 60	160	5,3	4,1

Сравнение дополнительных давлений от колес экипажей на рельсы, вызванных просадками разной длины и глубины, с допускаемыми (табл. 2) показало, что динамические добавки на просадках, которые оцениваются по нормам нулевым баллом, могут быть на много больше допускаемых. Просадки длиной от 1 м до 5 м при глубине 6 мм оцениваются нулевым баллом, в то же время допол-

нительное давление от электровоза ВЛ23 при скорости 100 км/ч на просадке длиной 2 м и глубиной 6 мм на пути с деревянными шпалами составляет 12,6 т, что на 5,6 т больше допускаемого, а на пути с железобетонными шпалами 16,5 т, т. е. больше допускаемого на 10,7 т или в 2,85 раза.

Несоответствие норм оценки просадок в баллах с уровнем динамического воздействия подвижного состава на них можно видеть и при других размерах просадок, причем, при движении всех рассмотренных экипажей.

Так как уровень динамического воздействия зависит от обрабатываемого подвижного состава, скоростей движения и жесткости пути, то нормы оценки должны быть дифференцированы в зависимости от этих факторов.

В работе установлено, что грузовые локомотивы при движении с конструкционными скоростями вызывают недопустимые воздействия на просадках, которые при одинаковой глубине имеют разницу в длинах до 1 м. Поэтому считается возможным иметь единые нормы оценки просадок для участков, где грузовые поезда обращаются со скоростью до 100 км/ч (независимо от типа локомотива) и пассажирские до 120 км/ч. В табл. 3 приведены размеры просадок, на которых при этих условиях динамические силы будут превышать допускаемые.

Таблица 3.

Глубина просадок в мм	Длины просадок	
	путь на деревянных шпалах	путь на железобетон- ных шпалах
4—6	меньше 3 м	3 м и меньше
7—10	3 м и меньше	4 м и меньше
11—15	меньше 4 м	5 м и меньше
16—20	7 м и меньше	9 м и меньше
21—25	меньше 8 м	10 м и меньше

Для участков скоростного движения поездов рассматривалось воздействие на просадках тепловозов ТЭ7 и ТЭП60 при движении их с конструкционными скоростями, а также воздействие грузового подвижного состава при скорости 100 км/ч.

В табл. 4 приведены размеры просадок, при которых динамические силы превышают допускаемые, в случае если на участке пути обращаются тепловозы ТЭ7 и ТЭП60 с конструкционными скоростями и в табл. 5 — для участков пути, где из скоростных локомотивов обращаются только ТЭП60 со скоростью до 160 км/ч.

Таблица 4.

Глубина просадок в мм	Длины просадок	
	путь на деревянных шпалах	путь на железобетонных шпалах
4—6	3 м и меньше	меньше 5 м
7—10	4 м и меньше	10 м и меньше
11—15	меньше 5 м	15 м и меньше
16—20	7 м и меньше	
21—25	10 м и меньше	

Таблица 5.

Глубина просадок в мм	Длины просадок	
	путь на деревянных шпалах	путь на железобетонных шпалах
4—6	меньше 3 м	меньше 4 м
7—10	меньше 4 м	4 м и меньше
11—15	4 м и меньше	12 м и меньше
16—20	7 м и меньше	
21—25	меньше 8 м	

На скоростных участках с железобетонными шпалами путь должен содержаться особенно тщательно, так как в случае образования просадок глубиной более 10 мм, а они могут быть значительно меньшей длины, чем указано в табл. 4 и 5, динамические силы будут достигать недопустимо больших величин.

Поскольку при указанных в табл. 3, 4 и 5 размерах просадок динамические давления на путь превышают допускаемый уровень давлений, предлагается оценивать их неудовлетворительным баллом.

В диссертации определены динамические воздействия на путь от вагона и электровоза ВЛ23, вызванные перекосами длиной 3, 5, 7 и 14 м при размере отклонения 6, 10 и 15 мм. Полученные результаты можно использовать для приближенной оценки воздействия экипажей на перекосах, т. к. решалась плоская задача. Перекосы же вызывают пространственные колебания экипажей.

На перекосе длиной 3 м динамические воздействия от электровоза ВЛ23 при $v = 100$ км/ч превышают допускаемые на пути с

деревянными шпалами при размере отклонения 15 мм и на пути с железобетонными шпалами — при 10 мм.

На перекосах длиной 5 м и более динамические добавки даже при размере отклонения 15 мм составляют сравнительно небольшие величины. Однако при этих длинах перекосов необходимо учитывать резкие боковые колебания экипажей с отклонениями в обе стороны от среднего положения.

Установлено, что на перекосе длиной 5 м размах вертикального колебания кузова вагона в точке подвешивания составляет величину примерно в 1,5 раза большую размера отклонения на перекосе. При этом могут возникать опасные для движения поездов разгрузки колес экипажей.

При содержании железнодорожного пути допускаются отклонения от нормального положения рельсовых нитей по уровню не более 4 мм, при этом отвод должен быть не круче 1 мм на 1 п. м пути при движении поездов со скоростями до 100 км/ч и 1 мм на 2 п. м пути при скоростях более 100 км/ч.

В диссертации рассмотрены динамические силы от колес вагона и электровоза ВЛ23 на прямолинейных отводах с уклонами 1‰ и 2‰.

При движении по указанным отводам на пути с деревянными шпалами дополнительные давления при скоростях до 160 км/ч включительно характеризуются небольшими величинами, особенно от колес вагона. На пути с железобетонными шпалами электровоз оказывает в 1,5 раза большее воздействие, чем на пути с деревянными шпалами при одинаковых уклонах отвода. У вагона разница в давлениях на пути с деревянными и с железобетонными шпалами значительно меньше. Отвод с уклоном 1‰ вызывает незначительное воздействие колес экипажей на путь при скоростях до 160 км/ч, а отвод с уклоном 2‰ вызывает столь же незначительное воздействие при скоростях до 100 км/ч. Выполненное исследование показывает, что действующие нормы по крутизне отводов являются весьма жесткими.

Выводы

1. Выполненные на машине «Урал-1» теоретические исследования колебаний 4-осного грузового вагона показали, что при скоростях до 20 м/сек (72 км/ч) включительно невозмущенное движение его устойчиво. При скоростях 30 м/сек (108 км/ч) и 40 м/сек (144 км/ч) характер невозмущенного движения неустойчивый.

Экспериментальными исследованиями установлено, что движение такого же вагона по реальному пути со скоростями 20—60 км/ч сопровождается попеременным прижатием гребней колес то к одной, то к другой рельсовой нити. Следовательно, хотя вагон как динамическая система и характеризуется устойчивым движением,

на реальном же пути с его неровностями и неравноупругостью движение может быть неустойчивым.

2. Постоянное повышение одной рельсовой нити на прямом участке пути, как показали опыты, при скоростях 20—60 км/ч приводит к уменьшению амплитуд виляния тележек. Прижатий гребней колес к повышенной нити не наблюдалось.

3. Теоретически установлено, что при скоростях 30 м/сек и 40 м/сек боковые колебания тележек вагона при возвышении одного рельса под другим на 4 мм имеют незатухающий характер.

Окончательный вывод относительно целесообразности содержания рельсовых нитей на прямых с возвышением на 4 мм при скоростях движения более 100 км/ч может быть получен только после экспериментальной проверки при соответствующих скоростях.

4. Длины волн виляния, полученные теоретически составляют 24,4—28,8 м. Они совпадают с длинами волн, полученными при опытах (22—28 м)

5. Боковая упругость рельсовых нитей способствует устойчивости движения вагона. Чем меньше жесткость, тем больше интервал скоростей устойчивого движения.

6. Метод электромеханических аналогий является эффективным при исследовании динамического воздействия железнодорожных экипажей на неровностях пути.

В результате выполненных исследований дана сравнительная оценка динамического воздействия основных современных экипажей на путь в зоне неровностей. Полученные данные можно использовать в качестве дополнения к проводимым натурным испытаниям подвижного состава.

Из рассмотренных локомотивов меньше воздействуют на путь тепловоз ТЭП60 и электровоз ЧС1. Воздействие на путь тепловоза ТЭП60 при скорости 160 км/ч меньше, чем электровозов ВЛ23 и ВЛ60 при скорости 100 км/ч. Сравнение воздействия на путь скоростных тепловозов ТЭП60 и ТЭ7 показывает, что дополнительные давления на неровностях от колес ТЭП60 при скорости 160 км/ч меньше, чем от колес ТЭ7 при скорости 140 км/ч.

7. На неровностях пути длиной 5 м и более дополнительные давления от колес локомотивов мало зависят от скорости движения. На неровностях меньшей длины основная часть давления на путь вызывается силами инерции неподрессоренных масс. Поэтому возрастание скорости приводит к увеличению дополнительных давлений.

8. При движении вагона по неровностям длиной 2 м и более значительную часть дополнительного давления на путь составляет давление от колебаний кузова на рессорах.

На неровностях длиной 4 м и более на пути с деревянными шпалами вагон больше воздействует на путь, чем локомотивы при всех скоростях, включая и конструкционные.

9. Действующая система оценки просадок пути в баллах не учитывает динамического воздействия подвижного состава на них. Нормы оценки должны быть дифференцированы в зависимости от скоростей движения поездов, длин просадок и жесткости подрельсового основания.

Размеры просадок пути, вызывающих дополнительные воздействия колес подвижного состава на рельсы большие, чем допускаемые (табл. 2), для участков со скоростями движения поездов до 100—120 км/ч и до 160 км/ч приведены в табл. 3, 4 и 5. Предлагается при проверках состояния пути путеизмерительными вагонами просадки, указанные в этих таблицах, оценивать неудовлетворительным баллом.

10. Перекосы пути длиной 5 м и более приводят к незначительному воздействию колес подвижного состава на путь. При длине же 3 м и менее силы могут быть больше допускаемых. Однако, на перекосах следует учитывать не только уровень динамического воздействия, но и характер вынужденных колебаний экипажей. Важность учета последнего фактора заключается в том, что амплитуды колебаний кузова на рессорах могут достигать больших величин; при этом не исключена возможность разгрузки отдельных колес и всползания гребней их на рельс.

11. Исходя из полученных величин динамического воздействия колес экипажей на путь при их движении по отводам отклонений рельсовых нитей по уровню, можно заключить, что на участках движения поездов со скоростями до 160 км/ч допустимы отводы с уклоном в 1‰. При скоростях до 100 км/ч на пути с деревянными шпалами может быть допущен уклон отводов в 2‰, а на пути с железобетонными шпалами следует сохранить уклон в 1‰. При этом дополнительные давления колес на рельсы не будут превышать 2 т.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Фришман М. А., Полевиченко А. Г. Экспериментальные исследования по влиянию четырехосного вагона на прямом участке пути в зависимости от положения рельсовых нитей по уровню. Труды ДИИТа, вып. 42, 1962.
2. Полевиченко А. Г. Влияние положения рельсовых нитей по уровню, на колебания вагона. Труды ДИИТа, вып. 45, 1963.
3. Полевиченко А. Г. Что показывают исследования. Жур. «Путь и путевое хозяйство», № 11, 1963.

Типография Днепропетровского металлургического института,
г. Днепропетровск, просп. Ю. Гагарина, 4.

Заказ 32. Тир. 120. Подп. к печ. 17 I. 64 г. БТ 07543. Объем 1,12 л. «.