

СССР — МПС
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Доцент ВОЛОШКО Ю. Д.
кандидат технических наук

ИССЛЕДОВАНИЕ
НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ РАБОТЫ ПУТИ
НА БЛОЧНОМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОМ
ПОДРЕЛЬСОВОМ ОСНОВАНИИ

(Специальность № 432 «Железнодорожный путь»)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК
1 9 6 9

НТБ
ДНУЖТ

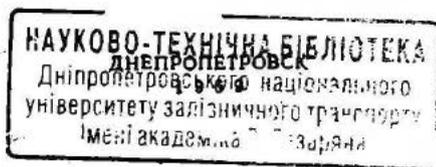
На правах рукописи

Доцент ВОЛОШКО Ю. Д.
кандидат технических наук

ИССЛЕДОВАНИЕ
НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ РАБОТЫ ПУТИ
НА БЛОЧНОМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОМ
ПОДРЕЛЬСОВОМ ОСНОВАНИИ
(Специальность № 432 «Железнодорожный путь»)

407/а

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук



НТБ
ДНУЖТ

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта направляет Вам для ознакомления автореферат диссертации доцента Ю. Д. Волошко.

Просим Вас и заинтересованных лиц Вашего учреждения принять участие в публичной защите диссертации или прислать свой отзыв в письменном виде в 2-х экземплярах, заверенных печатью Вашего учреждения, по адресу: г. Днепропетровск-10, Университетская, 2, ДИИТ.

Официальные оппоненты: заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор Г. М. ШАХУНЯНЦ; заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор С. В. АМЕЛИН; доктор технических наук, профессор В. И. АНДРАШЕНКО

Ведущее предприятие — Главное управление пути МПС, ЦНИИ МПС

Автореферат разослан « 21 » февраля 1970 г.
Защита состоится в марте 1970 года на заседании Ученого совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта. Дата защиты будет объявлена в газете «Днепровская правда».

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета, канд. техн. наук, доцент
Б. М. КЛИМКОВСКИЙ.

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Экспериментальная часть исследования проведена на опытном кольце ЦНИИ МПС, а также на Юго-Западной и Приднепровской железных дорогах.

НТБ
ДНУЖТ

ВВЕДЕНИЕ

XXIII съезд КПСС определил главные направления технического прогресса, связанные с дальнейшим общим развитием народного хозяйства. Важная роль в укреплении хозяйства, неуклонном подъеме материального и культурного уровня жизни народа принадлежит железнодорожному транспорту. Основная задача железнодорожного транспорта — повышение пропускной и провозной способности грузонапряженных линий. Решение этой задачи во многом зависит от технического прогресса в путевом хозяйстве.

На многих направлениях железнодорожный путь с рельсошпальной решеткой работает с предельным напряжением, требует повышенных затрат труда на содержание и ремонты. При высокой грузонапряженности объем таких работ существенно увеличивается, а производительность труда резко снижается из-за высокой интенсивности движения поездов.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом идут поиски новых конструкций пути на основе применения блочных железобетонных подрельсовых оснований. Переход от шпал к крупным железобетонным блокам открывает возможности повышения плавности и безопасности движения поездов, улучшения условий применения бесстыкового пути, снижения затрат труда на текущее содержание пути на восстановление дренающих свойств балластного слоя, на выправочные работы и в целом на периодические ремонты пути.

Изготовленные по проектам Гипропромтрансстрой и уложенные в путь на ряде дорог для эксплуатационных испытаний железобетонные плиты и рамы подрельсового основания конструктивно еще не отработаны в такой степени, чтобы можно было открыть зеленую улицу для широкого их внедрения.

Для отработки конструкции блочных оснований, установления их целесообразных геометрических размеров и физических параметров необходима комплексная оценка работы пути на блоках как в статике, так и в динамике. Исследование особенностей взаимодействия элементов пути между собой и с колесами проходящего подвижного состава открывает возможности установления показателей такой оценки.

Конструкция пути на блоках, принципиально отличаясь от рельсо-шпальной решетки, тем не менее предназначена для тех же целей и имеет с ней много общего. Поэтому общая методология исследования работы пути, разработанная отечественными учеными, применима и для исследуемой конструкции. Творческое использование методов установившегося подхода к исследованиям пути обычной конструкции открывает возможности вскрытия и плодотворного изучения особенностей работы пути на блочном основании.

Основы современного подхода к исследованиям пути базируются на работах М. Ф. Вериго, В. Н. Данилова, О. П. Ершкова, Г. М. Шахунянца. Большой вклад в решение важных технических и технико-экономических проблем развития железнодорожного пути внесли В. Г. Альбрехт, С. В. Амелин, В. И. Ангелейко, А. Ф. Золотарский, С. П. Першин, М. А. Фришман, В. Я. Шульга, М. А. Чернышев, В. Ф. Яковлев. В задачах взаимодействия подвижного состава и пути плодотворно используются и развиваются исследования по динамике подвижного состава В. Б. Медея, В. А. Лазаряна.

В процессе разработки технических заданий на проектирование блоков, их изготовления и опытной эксплуатации проведен ряд ценных исследований, в которых рассмотрены особенности работы блоков подрельсового основания, их совместной работы с рельсами. К ним в первую очередь следует отнести работы И. В. Амеличева, В. Ф. Афанасьева, Б. Г. Брадул-Кирilloва, В. Я. Клименко. Важный вопрос о проектировании модуля упругости пути на блоках рассмотрен Г. М. Шахунянцем.

Отмеченные исследования направлены в основном на решение задач статики. Вопросы динамики пути с железобетонным подрельсовым основанием практически оставались за пределами ведущихся теоретических разработок.

В последние годы большие перспективы для исследования динамики механических систем открыли возможности вычисли-

НИИ
ДНУЖТ

тельной техники. Работы в этой области сотрудников ДИИТа — В. А. Лазаряна, М. А. Фришмана, Р. С. Липовского, А. Н. Орловского, Л. Я. Воробейчика, В. И. Клямова, ЛИИЖТа — С. В. Амелина, В. Ф. Яковлева, И. И. Семенова, ЦНИИ МПС — М. В. Вериго, О. П. Ершкова, Н. Н. Кудрявцева, Ю. С. Ромэна и других позволили преодолеть многие трудности и прочно утвердить применение вычислительной техники, в первую очередь аналоговых машин непрерывного действия, в исследованиях вопросов взаимодействия подвижного состава и пути.

Основные задачи реферируемой работы сформулированы следующим образом:

— Создание частных методик изучения отдельных показателей статической работы блоков основания. Получение полей решений по этим методикам.

— Разработка методов исследования динамики пути с учетом параметров рельсов и подрельсовых опор. Получение решений по определению вертикальных и горизонтальных сил в различных связях рассматриваемых систем.

— Разработка критериев и методики аналитического определения рациональных упругих параметров пути с железобетонными элементами основания.

— установление условий работы рельсов, промежуточных скреплений, блоков основания на основе, главным образом, изучения силового взаимодействия их между собой и с колесами проходящего подвижного состава;

— проведение широких экспериментальных работ и наблюдений для определения упругих характеристик, установления напряженно-деформированного состояния элементов пути, отработки расчетных схем, выяснения надежности отдельных узлов, особенностей износа отдельных элементов.

Основная цель работы — комплексное исследование статической и динамической работы — относится, главным образом, к перегонной конструкции пути. Для практической оценки опытных стрелочных переводов на плитных основаниях с точки зрения их работоспособности и технической эффективности также должны быть проведены всесторонние специфические исследования. Однако в данной работе затронуты вопросы, связанные с условиями работы только одного из элементов новой конструкции переводов — плит железобетонного основания.

Выполненная работа состоит из введения, трех частей, заключения и приложений. Первая часть, состоящая из пяти глав, посвящена исследованию упругих параметров и анализу статической работы пути исследуемой конструкции. Во второй части, состоящей из трех глав, изложены разработка методов и результаты решения задач по исследованию вертикальной и горизонтальной поперечной динамики взаимодействия подвижного состава и пути с учетом параметров рельсов и подрельсовых опор. В третьей части, состоящей из четырех глав, приведены результаты экспериментов и наблюдений.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Упругие характеристики подблочного и подрельсового оснований оказывают существенное влияние на работу верхнего строения как в статике, так и в динамике. При исследовании этих характеристик рассмотрены две задачи: установление зависимости упругих параметров от конструкции блоков и выяснение рационального уровня их по условиям работы пути в целом. В качестве характеристик упругости подблочного основания, с учетом применения в дальнейшем для расчетов метода начальных параметров, принят коэффициент постели балластного основания c_0 и коэффициент постели блока $c = c_0 b$.

По всем показателям работы блоков (прогибы, изгибающие моменты, продольные перемещения при изгибе) целесообразно иметь наибольшие значения c_0 . Однако увеличение ширины блока b с этой целью мало эффективно, так как оно сопровождается существенным снижением значений коэффициента c_0 . Снижение уровня c_0 при увеличении ширины b объясняется тремя факторами — уменьшением объема деформируемого балластного материала, приходящегося на единицу ширины блока, проявлением нелинейности упругих свойств при уменьшении удельного давления на балласт, ухудшением контакта нижней постели конструкции с поверхностью щебеночной призмы.

Установленная в результате проведенного исследования существенная зависимость c_0 от b должна учитываться в расчетах при проектировании конструкции блочных оснований. Недоучет этой зависимости (принятие одинаковых осреднен-

ных значений c_0 для плит и рам) приводит к недостаточной прочности и трещиностойкости плит по сравнению с рамами.

В качестве характеристики упругости подрельсового основания принят модуль упругости μ , величина которого зависит от c_0 и конструктивного оформления узла скрепления. Критерием рационального уровня модуля μ принято условие обеспечения минимума максимальной динамической нагрузки от колеса на рельс. Принятие такого критерия привело к необходимости разработать методику определения расчетного воздействия подвижного состава на путь с железобетонным подрельсовым основанием.

Структурная формула для определения максимальной динамической нагрузки от колеса на рельс при наличии железобетонных оснований принята такой же, как и рекомендуемая действующими «Правилами расчетов пути на прочность» для пути с деревянными шпалами. Однако выражения для отдельных составляющих переменных сил, в частности, $P_{нп}$ и $P_{нн}$ были пересмотрены.

Предпосылкой вывода нового выражения для $P_{нп}$ и соответствующего ему $S_{нп}$ послужила необходимость выразить их только через основные характеристики пути μ и k , отказавшись от дополнительных — β , γ , l . Выражение $P_{ннк}$, рекомендованное «Правилами», требовало уточнения.

В результате исследования на минимум выражения $P_{дннк}^{\max}$ получено кубическое уравнение. При этом в качестве независимой переменной принято отношение $\frac{k}{\mu}$. Единственный действительный положительный корень указанного уравнения служит решением поставленной задачи.

Полученные для электропоездов и вагонов в диапазоне скоростей 80—120—150 км/час решения показывают, что рациональный уровень модуля упругости подрельсового основания для этих условий составляет 550—900 кг/см².

Анализ статической работы блоков проведен на основании рассмотрения многих вариантов, отличающихся физическими и геометрическими параметрами. В качестве показателей работы блоков использованы линии влияния и огибающие эпюр изгибающих моментов, прогибов, а также продольных возвратно-поступательных перемещений поверхности блоков при изгибе под нагрузкой.

НТБ
ДНУЖТ

Для определения ординат линий влияния искомых показателей расчетные формулы для балок конечной длины на упругом основании, полученные по методу начальных параметров, были преобразованы. В результате получены формулы для определения прогибов W , изгибающих моментов M , продольных перемещений поверхности блоков Δx_6 , не требующие предварительного определения начальных параметров:

$$\left. \begin{aligned} W &= \frac{\kappa}{c_6} P \left[\frac{-(B_{1-a}C_1 - A_{1-a}D_1)A_x + (B_{1-a}B_1 - A_{1-a}C_1)B_x - 4D_{x-a}}{C_1^2 - B_1D_1} \right] \\ M &= \frac{P}{\kappa} \left[\frac{(B_{1-a}C_1 - A_{1-a}D_1)C_x + (A_{1-a}C_1 - B_{1-a}B_1)D_x - B_{x-a}}{C_1^2 - B_1D_1} \right] \\ \Delta x_6 &= \frac{hk^2}{2c_6} P \left[\frac{4(B_{1-a}C_1 - A_{1-a}D_1)D_x + (B_{1-a}B_1 - A_{1-a}C_1)A_x - 4C_{x-a}}{C_1^2 - B_1D_1} \right] \end{aligned} \right\} (1)$$

Здесь A, B, C, D с соответствующими индексами представляют собой гиперболотригонометрические функции аргументов $kx, kl, k(1-a)$;

- κ — коэффициент относительной жесткости основания и балки;
- a — расстояние от левого конца балки до точки приложения силы;
- l — длина блока;
- x — расстояние от левого конца балки до сечения, для которого строится линия влияния;
- h — толщина блока.

Формулы (1) дают возможность определить $W, M, \Delta x_6$ в любом сечении x под действием силы P , действующей непосредственно на блок. Для выполнения многовариантных расчетов на ЭЦВМ «Наири» была составлена программа определения этих величин, предусматривающая повторные циклы операций по варьируемым показателям. В соответствии с программой значения x и a варьировались в пределах длины блока l с шагом, равным шагу промежуточных скреплений. Варьировались также значения коэффициента постели блоков c_6 и коэффициента относительной жесткости основания и блока κ . Вариантные значения l составили 208, 416, 624 и 1248 см.

В результате исполнения программы получены квадратные матрицы ординат линий влияния искомых величин по каждому

варианту, отражающие движение единичной силы по блоку. Каждый столбец каждой из матриц представляет собой совокупность ординат линии влияния для одного сечения. Число сечений соответствует числу подкладок на блоке по одной рельсовой нити.

В реальных условиях колесные нагрузки перемещаются по рельсу, а рельс передает эти нагрузки через несколько подкладок. С учетом распределяющей способности рельса квадратные матрицы ординат линий влияния были трансформированы в прямоугольные, отражающие движение силы P по рельсу.

Трансформация произведена путем пересчета элементов квадратных матриц a_{ij} в прямоугольные c_{ij} по формуле:

$$c_{ij} = \sum_{k=0}^{k \leq q} a_{(i-k)j} v_k \quad (2)$$

Здесь неравенство над знаком Σ определяется условием $i > k$

$k=0, 1, 2, \dots, q$

q —число подкладок, на которые распределяется давление от одного колеса;

v_k —доля нагрузки P , приходящаяся на k -ую подкладку.

Трансформация матриц выполнена на ЭЦВМ «Наири» по специально составленной программе с варьированием типа рельсов и модуля упругости основания.

Прямоугольные матрицы ординат линий влияния $W, M, \Delta x_0$ были использованы для построения огибающих, соответствующих эпюр при воздействии 2-осных, 3-осных, а в отдельных случаях и 4-осных тележек грузовых вагонов. Огибающие эпюр дают возможность установления целесообразных параметров исследуемых конструкций.

Для наглядного представления о влиянии тех или иных варьируемых параметров на показатели статической работы блоков результаты многовариантных расчетов были аппроксимированы упрощенными аналитическими зависимостями. Такие зависимости получены для максимальных прогибов блоков, для максимальных положительных и отрицательных изгибающих моментов в блоках.

Для продольных перемещений поверхности блоков при изгибе под перемещающейся нагрузкой аппроксимация получена для линий влияния Δx_6 в любом сечении блока. Такое внимание к этому показателю не случайно. Перемещения Δx_6 , суммируясь с соответствующими продольными перемещениями подошвы рельсов, существенно осложняют работу промежуточных скреплений.

Величина наибольших расчетных прогибов блоков имеет место в крайних сечениях и практически не зависит от их длины. Степень неравномерности прогибов по длине блока от длины его зависит, но незначительно. Эта зависимость больше сказывается при высокой изгибной жесткости блоков и почти не ощущается при малой жесткости их. Высокая изгибная жесткость блоков характеризуется повышенной степенью неравномерности их прогибов.

Исходя из изложенного, целесообразной можно считать наименьшую изгибную жесткость блоков, допустимую по условию устойчивости конструкции в целом от продольных и поперечных сдвигов.

Анализ расчетных изгибающих моментов позволил установить следующие условия целесообразной длины блока по этому показателю:

$$(3 \div 3,5) \text{ м} > l > (5 \div 6) \text{ м} \quad (3)$$

Первое условие, то есть $l > (5 \div 6) \text{ м}$ можно считать целесообразным для мощных сплошных конструкций в виде плит, укрывающих балластную призму от засорения. Применение таких дорогостоящих конструкций оправдывается при весьма высокой грузонапряженности линий и интенсивном оседании на путь внешних засорителей.

Второе условие, то есть $l < (3 \div 3,5) \text{ м}$ целесообразно для облегченных несплошных конструкций типа малогабаритных рам, требующих незначительных затрат материалов. Эффективность такого рода конструкций увеличивается еще и в связи с тем, что при малой ширине несущих железобетонных элементов увеличивается коэффициент постели упругого основания.

Работа сил трения на пути с блочными основаниями в зоне промежуточных скреплений из-за относительных горизонтальных продольных перемещений контактных поверхностей рель-

НИИ
ДНУЖТ

сов и блоков существенно больше той, которая реализуется на пути со шпалами. С этим непосредственно связаны выполнение и повышенный износ прокладок, износ прикрепителей с последующим изломом в ослабленных сечениях (в частности, шурупов крепления К-2), разработка в продольном направлении отверстий для шурупов в подкладках и другие нежелательные последствия.

Величина относительных горизонтальных продольных перемещений рельсов и блоков зависит от многих факторов. Определяющее влияние на их уровень оказывают два из них — тип рельса и коэффициент постели блока c_6 . Существенному снижению работы сил трения в зоне промежуточных креплений может способствовать применение рельсов высокой весовой категории, а также обеспечение упругой связи рельсов с блоками не только в вертикальном и поперечном горизонтальном, но и в продольном горизонтальном направлении.

По условию уменьшения износа элементов промежуточных рельсовых креплений рациональной степенью упругости продольной связи рельсы—блоки можно считать ту, при которой отсутствует относительное проскальзывание взаимодействующих элементов. Полную продольную рациональную жесткость этой связи можно найти из условия

$$(j_{пр})_{рац} \leq \left| \frac{f_{тр}P}{\Delta x_{кр}} \right| \quad (4)$$

Здесь $\Delta x_{кр}$ — относительное перемещение рельсов и блоков, меньшее или равное наибольшему относительному одностороннему перемещению:

$f_{тр} P$ — сила трения в момент, когда $\Delta x = \Delta x_{кр}$.

Дополнительно к расчетному анализу статической работы блоков подрельсового основания на модели проведено исследование напряженного состояния железобетонной плиты поляризационно-оптическим методом. В качестве объекта исследования принята плита основания стрелочного перевода.

Объемная модель плиты была изготовлена из эпоксидной смолы типа ЭД-6 (отвердитель — малеиновый ангидрид), упругое основание представлено слоем перлона. Модель изготовлена с предварительным напряжением арматуры и закладными элементами креплений разных типов и испытана под действием системы нагрузок, передаваемых на плиту через подкладки.

НТБ
ДНУЖТ

Проведенное на модели исследование позволило дать оценку общим возможностям метода фотоупругости в изучении напряженного состояния крупноблочных подрельсовых опор, лежащих на сплошном упругом основании. Кроме того, были сделаны частные выводы применительно к конкретной исследованной конструкции плиты стрелочного перевода.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Динамика пути с блочным железобетонным подрельсовым основанием теоретически исследована еще очень мало. А при установлении целесообразных параметров такой конструкции верхнего строения без оценки особенностей этой динамики обойтись нельзя. «Подлинная динамика процессов в реальных механических системах, — отмечает Я. Г. Пановко, — связана со свойством инерции и это свойство, в том или ином виде, должно быть отражено в расчетной схеме». По своим инерционным свойствам путь на блоках существенно отличается от пути на шпалах.

Для того, чтобы исследовать особенности динамики взаимодействия подвижного состава и пути, имеющего в основании массивные опоры, нужно в расчетной схеме выделить эти опоры, как самостоятельные элементы. Разделение общей массы пути, участвующей во взаимодействии с подвижным составом, на части ведет к увеличению числа степеней свободы, рассматриваемых механических колебательных систем. Однако при современном состоянии вычислительной техники это не может служить препятствием для исследований.

В качестве методов исследования особенностей динамики пути с блочным железобетонным основанием автором разработаны системы уравнений, описывающие совместные колебания вагона и пути с учетом параметров рельсов, подрельсовых опор и соответствующих связей. Уравнения по исследованию вертикальной и горизонтальной поперечной динамики составлены раздельно.

Исследование систем с разделенными массами пути позволяет изучить динамику взаимодействия не только колеса и рельса, но и элементов пути между собой. Получение единой механической системы подвижного состава и пути с разделенными массами связано с необходимостью иметь характери-

стики выделенных масс, а также упругих и неупругих связей между ними. Необходимо также иметь параметры возмущающих факторов, возбуждающих колебания системы.

Некоторые из указанных факторов и характеристик могут быть взяты такими же, как и для пути с рельсошпальной решеткой, некоторые имеют свои характерные особенности. Соображения автора по установлению необходимых параметров и характеристик изложены в диссертации.

Для описания вертикальной динамики принятой механической системы использован прямой способ составления уравнений, вытекающий из более общей формы уравнений движения — уравнений Лагранжа второго рода. В результате получена следующая система уравнений:

$$\left. \begin{aligned}
 - m_k \ddot{z}_k - P_{p1} - P_{p2} &= 0 \\
 - I_k \ddot{\varphi}_k - L' P_{p1} + L'' P_{p2} &= 0 \\
 - m_{\tau 1} \ddot{z}_{\tau 1} + P_{p1} - P_{k1} - P_{k2} &= 0 \\
 - I_{\tau 1} \ddot{\varphi}_{\tau 1} + \frac{1}{2} (-P_{k1} + P_{k2}) &= 0 \\
 - m_{\tau 2} \ddot{z}_{\tau 2} + P_{p2} - P_{k3} - P_{k4} &= 0 \\
 - I_{\tau 2} \ddot{\varphi}_{\tau 2} + \frac{1}{2} (-P_{k3} - P_{k4}) &= 0 \\
 - m_{p1} \ddot{z}_{p1} + P_{k1} - P_{n1} &= 0 \\
 - m_{p2} \ddot{z}_{p2} + P_{k2} - P_{n2} &= 0 \\
 - m_{p3} \ddot{z}_{p3} + P_{k3} - P_{n3} &= 0 \\
 - m_{p4} \ddot{z}_{p4} + P_{k4} - P_{n4} &= 0 \\
 - m_{n1} \ddot{z}_{n1} + P_{n1} - P_{o1} &= 0 \\
 - m_{n2} \ddot{z}_{n2} + P_{n2} - P_{o2} &= 0 \\
 - m_{n3} \ddot{z}_{n3} + P_{n3} - P_{o3} &= 0 \\
 - m_{n4} \ddot{z}_{n4} + P_{n4} - P_{o4} &= 0
 \end{aligned} \right\} (5)$$

Здесь обозначено:

$m_k, m_{\tau 1}, m_{\tau 2}$ — соответственно массы кузова и тележек;
 m_{pi}, m_{ni} — приведенные к линии действия силы, соответственно массы рельсов и подрельсовых опор, взаимодействующие с i -тым колесом;

- z_j — вертикальные перемещения масс с одноименными индексами;
 $I_k, I_{\tau 1}, I_{\tau 2}$ — моменты инерции кузова и тележек относительно горизонтальных поперечных осей, проходящих через их центры тяжести;
 $\varphi_k, \varphi_{\tau 1}, \varphi_{\tau 2}$ — углы поворота кузова и тележек относительно тех же осей;
 P_{p1}, P_{p2} — силы в рессорных комплектах соответственно первой и второй тележек;
 P_{ki} — силы на контакте i -ого колеса и рельса;
 P_{ni} — силы на контакте рельса с подрельсовыми опорами в зоне i -ого колеса;
 P_{oi} — силы на контакте подрельсовых опор с балластным основанием в зоне i -ого колеса;
 l — база тележки;
 L', L'' — расстояние от центра тяжести кузова до шкворней 1-ой и 2-ой тележек.

Уравнения (5) включают 14 неизвестных координат (11 линейных и 3 угловых) и 14 сил взаимодействия. Необходимые для решения системы (5) силы взаимодействия определяются из выражений:

$$\left. \begin{aligned}
 P_{p1} &= \alpha_p \left[z_k - z_{\tau 1} + \varphi_k L' - \sum_{i=1}^2 \frac{e_i}{2} \sin \left(\frac{v}{r} t + \theta_i \right) \right] + \\
 &+ \beta_p \left[z_k - z_{\tau 1} + \varphi_k L' - \sum_{i=1}^2 \frac{e_i}{2} \cos \left(\frac{v}{r} t + \theta_i \right) \right] \\
 P_{ki} &= \alpha_k \left[z_{\tau 1} - z_{p1} + \varphi_{\tau 1} \frac{l}{2} - \eta(vt) \right] \\
 P_{n1} &= \alpha_n (z_{p1} - z_{n1}) + \beta_n (z_{p1} - z_{n1}) + F_n \operatorname{sign}(z_{p1} - z_{n1}) + \\
 &+ f_n (z_{p1} - z_{n1}) \operatorname{sign}(z_{p1} - z_{n1}) (\dot{z}_{p1} - \dot{z}_{n1}) \\
 P_{o1} &= \alpha_o z_{n1} + \beta_o z_{n1} + F_o \operatorname{sign} z_{n1} + f_n z_{n1} \operatorname{sign} z_{n1}
 \end{aligned} \right\} (6)$$

В уравнениях (6) приняты следующие дополнительные обозначения:

$ж_p, ж_k, ж_{pn}, ж_0$ — жесткости связей системы: соответственно рессорного подвешивания, контактная, узла скрепления с учетом жесткости самой рельсовой нити и упругого основания с учетом жесткости подрельсовых опор;

$\beta_p, \beta_n, \beta_0$ — коэффициенты вязкого трения в рессорах, в основании рельсов и в основании подрельсовых опор;

f_n, f_0 — коэффициенты трения, пропорционального перемещениям, в основании рельсов и в основании рельсовых опор;

F_n, F_0 — постоянное сухое трение в тех же связях;

e_i — эксцентриситет геометрической оси i -ой колесной пары относительно центра вращения колеса;

Θ — сдвиг фаз эксцентриситета i -ой колесной пары по сравнению с первой колесной парой, для которой $\Theta_1=0$;

v — поступательная скорость движения вагона;

r — радиус колеса;

$\eta(vt)$ — уравнение неровности на пути или на колесе.

Как видно из уравнений (6), в выражения сил P_{p1} и P_{p2} действующих в рессорных комплектах, вошли проекции эксцентриситетов e_i на вертикальную ось. В отличие от этого ординаты неровностей на пути и колесах η_i вошли в выражения сил P_k . Таким образом, хотя e_i и η_i проявляются в колебаниях рассматриваемой механической системы, как возмущающие факторы, действие их различно.

Система уравнений (5) ÷ (6) может применяться в полном виде и может быть упрощена путем рассмотрения выделенных из нее отдельных парциальных систем. Возможности такого упрощения зависят от конкретных задач исследования, а также от характера возмущающих факторов. Выделяя парциальные системы из общей, в некоторых случаях целесообразно

детализировать связи системы вблизи зоны изучаемых процессов. При решении задач путем электрического моделирования такая детализация в отдельных случаях была выполнена с выделением (кроме массы подрельсовых опор) массы балластно-грунтового основания.

Основные задачи моделирования сводились к сравнительной оценке влияния параметров пути на происходящие в нем динамические процессы и взаимодействие с колесами подвижного состава. В результате решения ряда задач на аналоговых установках было выяснено влияние жесткости узла скрепления и массы железобетонных блоков основания на силы взаимодействия колес и рельсов, рельсов и блоков, блоков и балластного основания.

Важно при этом отметить, что величина жесткости узла скрепления сказывается на уровне сил только при времени прохождения неровностей $t < t_{кр} = (0,020—0,035)$ сек. Величина массы подрельсовых опор сказывается на уровне сил только при $t < t_{кр} = (0,018—0,023)$ сек. При этом влияние увеличенной массы опор на уровень сил можно компенсировать уменьшением жесткости узла скрепления.

Влияние конструкции пути на взаимодействие его с подвижным составом в горизонтальном поперечном направлении может проявиться только при набегании колеса на рельс. При отсутствии набегания горизонтальные, поперечные силы очень малы и практически не вовлекают в динамическое взаимодействие подрельсовые опоры.

Предварительно был проведен качественный анализ и найдена приближенная количественная оценка взаимодействия рельса с набегającym колесом. Для более точной оценки потребовалось рассмотреть более сложную механическую систему, состоящую из вагона и пути с разделенными массами.

Основой для исследования в этом случае приняты уравнения колебаний 4-осного грузового вагона, составленные В. А. Лазаряном применительно к условиям движения по прямому горизонтальному участку пути без неровностей. Для учета влияния конструкции пути реакции рельсов на горизонтальные поперечные воздействия колес рассмотрены, как реакции системы с двумя степенями свободы.

Приведенная к нормальной форме система дифференциальных уравнений, описывающих колебания вагона и пути с раз-

НИИ
ДНУЖТ

деленными массами в горизонтальной плоскости, получена в виде:

$$\begin{aligned}
 X_1 = X_8 & \quad X_8 = -\frac{c_{33}}{a_{33}} X_1 - \frac{c_{34}}{a_{33}} X_2 - \frac{c_{36}}{a_{33}} X_4 \\
 X_2 = X_9 & \quad X_9 = -\frac{c_{34}}{a_{44}} X_1 - \frac{c_{44}}{a_{44}} X_2 - \frac{c_{46}}{a_{44}} X_4 \\
 X_3 = X_{10} & \quad X_{10} = -\frac{c_{55}}{a_{55}} X_3 - \frac{c_{57}}{a_{55}} X_5 \\
 X_4 = X_{11} & \quad X_{11} = -\frac{c_{36}}{a_{66}} X_1 - \frac{c_{46}}{a_{66}} X_2 - \frac{c_{66}}{a_{66}} X_4 + \frac{f_{68}}{a_{66}} X_6 - \\
 & \quad - \frac{h_{66}}{v \cdot a_{66}} X_{11} + \frac{1}{a_{66}} \Sigma \pm P_{ij} \\
 X_5 = X_{12} & \quad X_{12} = -\frac{c_{57}}{a_{77}} X_3 - \frac{c_{77}}{a_{77}} X_5 + \frac{f_{79}}{a_{77}} X_7 - \frac{h_{77}}{v \cdot a_{77}} X_{12} + \\
 & \quad + \frac{1}{a_{77}} \Sigma \pm P_{ij} \\
 X_6 = X_{13} & \quad X_{13} = -\frac{f_{66}}{a_{88}} X_4 - \frac{h_{88}}{v \cdot a_{88}} X_{13} + \frac{f_{\eta}}{a_{88}} \sum_1^4 (\eta_{11} + \\
 & \quad + \eta_{12}) + \frac{1}{a_{88}} \Sigma \pm cP_{ij} \\
 X_7 = X_{14} & \quad X_{14} = -\frac{f_{97}}{a_{99}} X_5 - \frac{h_{99}}{v \cdot a_{99}} X_{14} + \frac{f_{\eta}}{a_{99}} \sum_1^4 (\eta_{i2} - \eta_{i1}) + \\
 & \quad + \frac{1}{a_{99}} \Sigma \pm cP_{ij} \\
 X_{15} = X_{17} & \quad X_{17} = B_{11}(H_{21} - H_{11}) \\
 X_{16} = X_{18} & \quad X_{18} = B_{21}(H_{31} - H_{21}) \\
 X_{19} = X_{21} & \quad X_{21} = B_{12}(H_{22} - H_{12}) \\
 X_{20} = X_{22} & \quad X_{22} = B_{22}(H_{32} - H_{22}) \\
 X_{23} = X_{25} & \quad X_{25} = B_{13}(H_{23} - H_{13}) \\
 X_{24} = X_{26} & \quad X_{26} = B_{23}(H_{33} - H_{23}) \\
 X_{27} = X_{29} & \quad X_{29} = B_{14}(H_{24} - H_{14}) \\
 X_{28} = X_{30} & \quad X_{30} = B_{24}(H_{34} - H_{24})
 \end{aligned}$$

(7)

40/1a

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
 Дніпропетровського національного
 університету залізничного транспорту
 імені академіка зоряна
 ДНУЖТ 17

Здесь: $x_1 \div x_7$ — обобщенные линейные и угловые координаты кузова и тележек;

x_{15} и x_{16} , x_{19} и x_{20} ,
 x_{23} и x_{24} , x_{27} и x_{28} — попарно, соответственно для каждой из четырех колесных пар координаты центров тяжести масс рельсов и подрельсовых опор, приведенных к линии действия горизонтальной поперечной силы;

a_{ii} — инерционные коэффициенты — функции масс кузова и тележек;

c_{ij} и c_{ik} — квазиупругие коэффициенты — функции параметров рессорного подвешивания;

b_{1j} и b_{2j} — инерционные коэффициенты — функции масс рельсов и подрельсовых опор, участвующих во взаимодействии;

f_{ik} и h_{ij} — коэффициенты уравнений — функции сил псевдоскольжения;

v — поступательная скорость движения вагона;

H_{3j} — горизонтальная поперечная сила взаимодействия реборды набегающего i -того колеса с головкой рельса;

H_{2j} и H_{1j} — силы горизонтального поперечного взаимодействия соответственно рельсов с блоками и блоков с балластным основанием;

η_{i1} и η_{i2} — ординаты горизонтальных неровностей соответственно по одной и по другой рельсовым нитям;

P_{ij} — функции сил взаимодействия колеса и рельса.

Входящие в систему (7) силы определяются для набегающего колеса первой колесной пары вагона следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} H_{11} &= \alpha_1 x_{15} + \beta_1 x_{17} + f_1 x_{15} \operatorname{sign} x_{15} x_{17} \\ H_{21} &= \alpha_2 (x_{16} - x_{15}) + \beta_2 (x_{18} - x_{17}) + \\ &+ f_2 (x_{16} - x_{15}) \operatorname{sign} (x_{16} - x_{15})(x_{18} - x_{17}) \\ H_{31} &= \alpha_3 [(x_4 - x_5) + c(x_6 - x_7) \pm e_0 - \eta_{11} - x_{16}] \\ P_{11} &= H_{31} - Y_{11} \end{aligned} \right\} (8)$$

Здесь $ж_1, ж_2, ж_3$ — жесткости соответствующих связей системы;

β_1 и β_2 — коэффициенты вязкого трения в основании блоков и в зоне узла скрепления;

Γ_1 и Γ_2 — коэффициенты трения, пропорционального разности соответствующих перемещений;

e_0 — половина зазора между гребнем колеса и головкой рельса без учета неровностей;

$У$ — поперечная составляющая силы псевдоскольжения.

Для набегающих колес других колесных пар вагона силы взаимодействия определяются аналогичным образом через координаты $x_{19} \div x_{30}$.

При отсутствии набегания гребней колес на рельсы колебания системы описываются первыми 14-ю уравнениями системы (7). При набегании первой колесной пары на рельс дополнительно должны быть использованы следующие четыре уравнения той же системы. При набегании второй колесной пары число необходимых уравнений увеличиваются еще на 4 и т. д. При использовании АВМ включения и отключения указанных групп уравнений осуществляются через функции P_{ij} автоматически в зависимости от выполнения слева или справа (одновременно они не могут удовлетворяться) следующих условий:

$$\left. \begin{array}{l} \text{для первой колесной} \\ \text{пары} \quad \quad \quad - (e_0 - \eta_{11}) > y_{\tau 1} + c\psi_1 > e_0 + \eta_{21} \\ \text{для второй колесной} \\ \text{пары} \quad \quad \quad - (e_0 - \eta_{31}) > y_{\tau 1} + c\psi_1 > e_0 + \eta_{41} \\ \text{для третьей колесной} \\ \text{пары} \quad \quad \quad - (e_0 - \eta_{12}) > y_{\tau 2} + c\psi_2 > e_0 + \eta_{22} \\ \text{для четвертой колес-} \\ \text{ной пары} \quad \quad - (e_0 - \eta_{32}) > y_{\tau 2} + c\psi_2 > e_0 + \eta_{42} \end{array} \right\} (9)$$

Здесь левые части неравенств относятся к колесам, катящимся по одной рельсовой нити, правые части неравенств — к колесам, катящимся по другой рельсовой нити. В неравенствах (9) через $y_{\tau 1}$ и $y_{\tau 2}$, ψ_1 и ψ_2 обозначены соответственно

горизонтальные поперечные перемещения центров тяжести и углы поворота в горизонтальной плоскости первой и второй тележек вагона.

Таким образом, для оценки исследуемых процессов при набегании гребней колес на рельсы имеем динамическую систему с переменным числом степеней свободы, требующую решения от 18 до 30 дифференциальных уравнений. В наиболее характерных случаях требуется решение 18 или 22 уравнений первого порядка.

Конкретные задачи по исследованию особенностей горизонтальной поперечной динамики взаимодействия подвижного состава и пути с железобетонными основаниями решались с использованием в параллельной работе до 4-х установок типа МН-7 и одной установки «Аналог-1». Решения получены при набегании одной, двух и трех колесных пар вагона на рельсы. Исследуемые конструкции пути отличались типом рельсов, видом подрельсовых опор (шпалы деревянные и железобетонные, железобетонные блоки).

Помимо исследования полной системы уравнений, проведены решения для выделенных из нее парциальных систем 8-го—10-го порядка. В этом случае наряду с линейными изучалось влияние и нелинейных связей на контакте колеса и рельса и в узле скрепления. В отдельных решениях общая масса колесной пары была разделена на две части. Одну из них составляла часть обода и центра колеса вблизи зоны контакта, другую — оставшаяся часть колесной пары.

В результате теоретического анализа и проведенных на АВМ исследований установлено, что горизонтальная поперечная сила взаимодействия реборды набегающего колеса и рельса является функцией, имеющей в течение периода набегания по крайней мере 2—3 максимума. Эти максимумы отличаются не только абсолютной величиной, но и природой появления и характером действия. Установлены зависимости этих максимумов от параметров пути и на этой основе предложен критерий определения рациональной жесткости рельсовых нитей в поперечном горизонтальном направлении.

Уровень сил взаимодействия рельсов и подрельсовых опор в зоне набегающего колеса в общем весьма мало отличается от сил контактного взаимодействия. Отличие имеет место только в величине первого максимума, носящего ударный характер.

Силы на контакте и в узле скрепления существенно зависят от жесткости рельсовых нитей, но практически не зависят от массы подрельсовых опор. Сила взаимодействия подрельсовых опор с балластным основанием заметно зависит от указанной массы. При наличии железобетонных подрельсовых оснований абсолютный максимум этой силы намного выше, чем при железобетонных и тем более деревянных шпалах.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

Изложенные в третьей части результаты экспериментов и наблюдений отражают работы, проведенные путепыпательной лабораторией ДИИТа по исследованиям работы пути и стрелочных переводов с железобетонными блочными основаниями. Работы проводились под руководством М. А. Фришмана. Во всех этих работах автор принимал деятельное участие.

Эксперименты по исследованиям перегонных конструкций пути на блочных основаниях проводились дважды:

— в 1964—65 гг. осенью и зимой совместно с МИИТом на экспериментальном кольце ЦНИИ МПС проведено комплексное изучение работы пути с блоками типа 8в и плитами типа 4 (рельсы типа Р65);

— в 1967 г. на Юго-Западной ж. д. проведено исследование работы пути с рельсами типа Р50 на плитах типа 4 после длительной эксплуатации.

Эксперименты по изучению работы плитных оснований стрелочных переводов также проводились дважды:

— в 1962—63 гг. на Юго-Западной и Приднепровской дорогах были исследованы стрелочные переводы типа Р50;

— в 1966 г. на Юго-Западной дороге были исследованы переводы улучшенной конструкции типа Р65.

При исследовании перегонных конструкций определялись усилия, перемещения, напряжения в элементах верхнего строения и на основной площадке земляного полотна. При исследовании стрелочных переводов основное внимание было обращено на изгиб плит, лежащих в основании. Показателями изгиба приняты деформации плит и изгибающие моменты в них.

Записи изучаемых процессов в испытаниях 1967 г. проводились под проходящими поездами, во всех остальных

случаях — под воздействием специальных испытательных поездов, состоявших из локомотивов, 4-осных и 6-осных полувагонов, загруженных до полной грузоподъемности. В испытаниях 1964—65 гг. в составе опытного поезда находился еще и 8-осный полувагон.

Во всех проведенных испытаниях измерялись упругие характеристики подрельсового, а в отдельных случаях и подблочного оснований.

При испытаниях как перегонных конструкций, так и стрелочных переводов варьировались упругие прокладки и другие элементы промежуточных рельсовых скреплений.

Очевидным результатом проведенных экспериментов является существенная зависимость величины коэффициента постели балластного основания c_0 от ширины железобетонных подрельсовых опор. Определенное влияние на c_0 оказывает и длина блоков. Этот вывод косвенно подтверждается результатами измерений модуля упругости подрельсового основания: средние значения модуля упругости при основаниях из плит типа 4, а также на стрелочных переводах не превышают 300—360 кг/см². Для пути, где лежат рамы типа 8—8в, среднее значение модуля упругости в несколько раз выше.

Причины существенного снижения коэффициента c_0 , связанные с увеличением площади конструкций применительно к блочным подрельсовым основаниям, указаны выше (см. часть первую). Первая из них (снижение объема деформируемого балластного материала на единицу площади конструкции) не поддается регулированию. Вторая частично связана с третьей и зависит от нее: с улучшением контакта степень нелинейности упругих свойств подблочного основания уменьшается. Таким образом, улучшение контакта блоков с поверхностью щебеночной призмы является единственной возможностью повышения коэффициента c_0 , в частности, для блоков в виде плит.

Такое улучшение контакта, как показали опыты МИИТа и ДИИТа 1964—65 гг., не может быть достигнуто путем тщательной подготовки балластного основания с последующей укладкой блоков. В отчете по этим работам сделан вывод — путь улучшения контакта блоков с поверхностью щебня и обеспечения необходимой плотности балластной подготовки следует искать на основе объемного уплотнения щебеночного слоя после укладки блоков машинами типа ВПО-3000.

Обеспечению хорошего контакта должен способствовать также подбор фракций подстилающего слоя целесообразных размеров и повышенной однородности.

Однако все эти меры для повышения коэффициента c_0 могут дать только ограниченный эффект: разница в уровнях c_0 для разных конструкций блоков (например плит и рам) уменьшится, но полностью ликвидирована не будет.

Степень участия балластно-грунтового подстилающего слоя на пути с плитами типа 4 в формировании общей упругости подрельсового основания находится на уровне 39—65%. Целесообразно ее снизить. Меры по повышению уровня c_0 будут одновременно способствовать уменьшению этого уровня.

В результате проведенных экспериментальных работ получены показатели, характеризующие напряженно-деформированное состояние элементов верхнего строения пути с плитами типа 4 и рамами типа 8, рельсами типов Р50 и Р65 на прямом участке пути при движении подвижного состава со скоростью до 80 км/ч. Полученные данные позволяют составить комплексное представление о работе рельсов, промежуточных креплений, блоков, балластного слоя до уровня основной площадки земляного полотна. Вкратце эти данные по перегонным конструкциям пути сводятся к следующему.

Показатели силового воздействия колес на рельсы и рельсов на опоры не являются однообразными по длине блоков. Особенно большая неравномерность свойственна силовому воздействию рельсов на опоры. Главнейшими факторами, определяющими степень этой неравномерности, являются отсутствие всякой связи между блоками в стыках, конструктивные особенности и упругие качества промежуточных креплений, а также класс точности изготовления соответствующих элементов.

Нормальные напряжения в рельсах от изгиба и кручения мало зависят от типа подрельсовых опор. Величина их определяется не только уровнем упругости подрельсового основания в целом, но и другими факторами, влияние которых может оказаться преобладающим. К числу этих факторов следует отнести прерывистость опирания рельсов на опоры, степень неравномерности реакций этих опор, соотношение характеристик упругости узла крепления и подблочного основания и др.

Деформации рельсовых нитей на блочных основаниях ограничены небольшими пределами и не вызывают опасных

отклонений в состоянии рельсовой колеи на прямых участках пути. Важную роль в состоянии рельсовой колеи играет надежность связи рельсов с железобетонными элементами оснований.

Вертикальные прогибы рельсов в значительной части формируются за счет просадок плит и рам. Это нерационально, так как серьезно усложняет работу блоков, повышает степень неравномерности уровня взаимодействия элементов пути по длине блока, способствует увеличенным деформациям (в том числе остаточным) балластного слоя. Эффективность уширения конструкции (перехода от рам к плитам) для снижения их просадок погашается (в ряде случаев полностью) вследствие сопровождающего эти изменения уменьшения коэффициента постели балластного основания.

Уширение продольных элементов железобетонных рам по концам дает положительный эффект, снижая неравномерность осадок блоков в стыках и в средней части. Однако к полному устранению неравномерности осадок блоков и связанных с нею сопутствующих явлений такое уширение не приводит.

Проведено сравнение результатов экспериментов на пути с блочными основаниями, выполненных различными лабораториями. Экспериментальные данные ЦНИИ МПС, МИИТа и ДИИТа дополняют друг друга. Противоречий между ними нет. Отклонения в уровне отдельных показателей при разных испытаниях закономерны: помимо особенностей конструкции пути они отражают индивидуальные особенности подвижного состава (опытного или проходящих поездов).

Помимо анализа численных значений сил, перемещений, напряжений, по результатам испытаний 1967 г. дополнительно внимание было обращено на форму записей вертикальных прогибов плит, напряжений в рельсах и др. Проведенный анализ формы осциллограмм показал, что принятая в первой части расчетная схема отдельного рассмотрения работы рельсов и блоков в большей степени отвечает реальным условиям, чем схема с приведенной изгибной жесткостью рельсоблочной решетки типа составных балок с шарнирами.

* * *

Программой экспериментальных работ по исследованию стрелочных переводов было предусмотрено, наряду с определением упругих характеристик подрельсового и подплитного ос-

НИИ
ДНУЖТ

нований, изучение силовых воздействий, а также напряженно-деформированного состояния железобетонных плит.

Испытания переводов типа Р50 производились, как правило, при стандартных для этой конструкции скреплениях типа К-2 с двумя прессованными деревянными прокладками. Испытания переводов типа Р65 со скреплениями КБ производились с нижними прокладками двух разновидностей — стандартными из резины толщиной 6 мм и из резины повышенной упругости толщиной 11 мм. Методика измерений и фиксации динамических процессов при испытаниях стрелочных переводов была в основном такой же, как и при испытаниях перетонной конструкции пути.

По испытаниям 1962—63 гг. (переводы типа Р50) сделаны следующие основные выводы и практические рекомендации по совершенствованию конструкции стрелочных переводов в части, касающейся работы железобетонных плит.

— Конструкция подрельсового основания стрелочного перевода в виде узких плит неодинаковой длины приводит к тому, что места перехода от плит одной длины к плитам другой длины могут служить очагами повышенных воздействий на крайние подкладки более длинных плит.

— Движение вагонов приводит к более высоким, по сравнению с исследованными локомотивами (паровозом С^У и электровозом ВЛ-22^м), вертикальным воздействиям на плиты.

— При существующих методах подготовки щебеночного основания под плиты коэффициент постели упругого основания под ними в течение длительного времени сохраняется на уровне 4 кг/см³. Коэффициенты изгиба плит при таком основании находятся в пределах от 0,60 до 0,90.

— Дальнейшую работу по совершенствованию блочных железобетонных оснований для стрелочных переводов целесообразно вести в направлении увеличения размеров плит вдоль пути, а также уменьшения разности в длинах смежных плит разных типов поперек пути.

— Расчеты, связанные с проектированием новых конструкций плит, следует вести как на локомотивную, так и на вагонную нагрузку. Расчетное значение коэффициента постели балластной подготовки должно соответствовать фактическому ее состоянию и при существующих методах подготовки основания составлять около 4 кг/см³.

Испытания переводов типа Р50 позволили выяснить общие

особенности работы таких конструкций, вскрыть ряд конструктивных недостатков и наметить пути их устранения. Выводы и рекомендации, сделанные по результатам этих испытаний, частично были учтены уже в конструкции переводов типа Р65. Так, если в первой конструкции разность длин соседних плит доходила до 1,5 м, то во второй она была сокращена до 0,3—0,5 м. Положительно на работе новых конструкций переводов оказался также переход на рельсы тяга-Р65 и скрепления типа КБ вместо К-2.

Непосредственно по результатам испытаний переводов типа Р65 на плитах (1966 г.) сделаны следующие выводы.

— Вертикальные воздействия через подкладки на плиты несколько ниже по уровню, а степень неравномерности их существенно ниже, чем в первоначальной конструкции. Это улучшает общие условия работы плит на изгиб.

— Применение прокладок промежуточных скреплений из резины повышенной упругости дополнительно снижает уровень и степень неравномерности силовых воздействий на плиты. Эффективность применения таких прокладок особенно высока при ударном взаимодействии колеса и рельса, в частности, в зоне крестовины.

— Превышение в ряде случаев экспериментальной оценки изгибающих моментов в плитах по сравнению с расчетными их значениями вызвано несовершенством подготовки балластного основания под плитами и несоответствием расчетных упругих характеристик этого основания фактическим.

— Изменение числа типоразмеров плит, повышение их жесткости и прочности, улучшение условий взаимодействия с металлическими элементами перевода привело к повышению стабильности положения плит, уменьшило подверженность их трещинообразованию.

Дальнейшее улучшение условий работы плит может быть достигнуто совершенствованием технологии подготовки балластной постели. Новая технология должна способствовать повышению плотности балластного слоя и обеспечению сплошного опирания на него плит всей нижней поверхностью.

* * *

Наблюдения за работой пути на блочном железобетонном подрельсовом основании из плит типа 4 и рам типа 8 длиной 6,25 м показывают, что в условиях весьма высокой грузона-

НИИ
ДНУЖТ

пряженности такой путь в целом является стабильным. «Стабильными» остаются и некоторые первоначальные отклонения от норм содержания пути, в частности, в плане.

Работа рельсов на участках с блочным железобетонным основанием мало отличается от работы рельсов на пути со шпалами. На всех опытных участках, в том числе эксплуатирующихся с 1958 г., выход рельсов по дефектам и по износу не превышает норм, характерных шпальному основанию.

От конструкции и упругих параметров скреплений зависит напряженность их работы и долговечность отдельных элементов — прикрепителей, прокладок, шайб и т. д.

Применение скреплений типа КБ и рельсов типа Р65 на опытных участках Московской, Донецкой и частично Приднестровской дорог существенным образом улучшило работу пути в целом, снизило напряженность всех его элементов. Скрепления типа КБ — заметный шаг вперед по сравнению со скреплениями типа К-2. Однако и эти скрепления далеки от совершенства. Основные их недостатки — непригодность для кривых участков пути, отсутствие возможности регулирования положения рельсовых нитей в плане, недостаточная упругость.

Отмечая общую достаточно высокую стабильность пути на блочных основаниях, нельзя не обратить внимание на непрекращающийся в ряде случаев рост числа и увеличение размеров трещин в плитах подрельсового основания. Это свидетельствует о недостаточной несущей способности этих плит. Наличие продольных пустот в плитах и их размещение по поперечному сечению могут оказывать влияние на условия появления и развития трещин. Сборные рамы типа 8а—8в не обеспечивают безопасности движения поездов: наблюдаются случаи разрыва стяжных болтов.

Конструкция блоков в виде рам типа 8 с плитами прикрытия средней части неэффективна с точки зрения предотвращения засорения щебня внешними засорителями. Открытыми для засорителей остаются и стыки блоков (плит и рам).

Были проведены наблюдения за работой четырех видов покрытий откосов балластной призмы и междупутья от засорения. Установлено, что сыпучие покрытия (в особенности ракушка) уступают твердым (асфальту и сборному железобетонному) как по степени предохранения щебня от засорения, так и по условиям удаления загрязнителей с поверхности блоков и самих покрытий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с целями и задачами, сформулированными во введении, в данной работе выполнено комплексное исследование работы пути на блочных железобетонных подрельсовых основаниях. Основной базой для выявления особенностей и сценки работы такого пути послужили теоретические разработки, экспериментальные исследования, эксплуатационные наблюдения.

Из числа выполненных теоретических разработок, позволивших получить новые результаты или сделать важные обобщения по теме исследования, отметим следующие.

1. Разработка метода исследования особенностей вертикальной динамики пути с массивными подрельсовыми опорами в виде системы уравнений, описывающих совместные колебания вагона и пути с разделенными массами.

2. Разработка метода исследования горизонтальной поперечной динамики пути рассматриваемой конструкции в виде системы уравнений, описывающих совместные колебания вагона и пути с разделенными массами в горизонтальной плоскости.

3. Выявление особенностей горизонтального продольного взаимодействия рельсов и блоков основания. Разработка методики количественной оценки основных факторов такого взаимодействия.

4. Разработка рациональных приемов анализа статической работы пути на сборном железобетонном основании с учетом основных физических и геометрических параметров блоков, распределяющей способности рельсов, характеристик упругости подблочного и подрельсового оснований.

5. Разработка метода определения рационального уровня упругости подрельсового основания по критерию обеспечения минимального значения максимальной динамической нагрузки, действующей от колес подвижного состава на рельсы.

6. Установление новых важных критериев рациональной жесткости рельсовых нитей в поперечном горизонтальном направлении, а также жесткости связи рельсы — блоки в продольном горизонтальном направлении.

7. Разработка в первом приближении методики определения расчетного воздействия подвижного состава на путь с железобетонным подрельсовым основанием.

При проведении теоретических исследований получены также некоторые попутные результаты, представляющие определенный интерес в кругу вопросов, относящихся к общим проблемам взаимодействия подвижного состава и пути.

Конкретные расчеты и разработки, выполненные на базе известных методов исследования, а также с привлечением отмеченных выше теоретических разработок автора позволили изучить и оценить особенности статической и динамической работы пути со сборным железобетонным подрельсовым основанием. Критерием надежности расчетов, как правило, принимались результаты экспериментальных исследований и наблюдений.

Результаты проведенных экспериментов и наблюдений органически дополняют теоретическую часть исследования. Эксперименты и наблюдения позволили установить особенности фактического напряженно-деформированного состояния элементов пути, получить упругие характеристики и некоторые другие расчетные параметры, вскрыть особенности работы, износа и выхода отдельных элементов.

Проведенное комплексное исследование работы пути на блочном железобетонном подрельсовом основании позволяет дать общую оценку условий работы элементов такого пути. Эта оценка сводится к следующему.

Работа рельсов

На пути с рельсошпальной решеткой рельсы являются основным несущим элементом пути, воспринимающим давления от колес подвижного состава и распределяющим его по отдельным опорам — шпалам. На пути с железобетонным основанием при свободном стыковании блоков роль рельса как основного несущего элемента пути сохраняется.

Тип рельса, определяемый моментом инерции его поперечного сечения, для пути на блочном основании с ограниченной длиной блоков играет важнейшую роль. От типа рельса существенно зависят условия работы блоков и промежуточных креплений. Тип рельса определенным образом сказывается на условиях работы балластного слоя и основной площадки земляного полотна.

Положительное влияние рельсов высокой весовой категории проявляется в снижении деформаций и напряжений во

всех элементах пути, следствием этого является уменьшение затрат труда на текущее содержание и периодические ремонты пути.

К числу отрицательных последствий применения рельсов высокой весовой категории следует отнести повышенную восприимчивость к ударным воздействиям и снижение чисто экономической эффективности пути на блочном железобетонном основании.

Анализ всех полученных и рассмотренных нами материалов, относящихся к рельсовой проблеме, показывает, что на данном этапе развития конструкций пути с блочными основаниями целесообразным является применение рельсов не ниже типа Р65.

Повышение экономической эффективности рассматриваемых конструкций пути за счет снижения погонного веса рельсов может стать реальным при выполнении двух основных условий. Первое связано с созданием промежуточных скреплений, обеспечивающих надлежащую упругую связь рельсов и блоков в продольном горизонтальном направлении. Второе условие требует существенного ограничения отрицательного влияния стыков блоков. Оно связано с применением блоков значительно большей длины по сравнению с длиной блоков, находящихся в опытной эксплуатации. Положительным для выполнения второго условия может оказаться либо омоноличивание стыков блоков, либо соединение их другим путем.

Работа промежуточных скреплений

Условия работы промежуточных скреплений на пути со шпалами и блоками существенно различаются. Отличаются и требования, которым должны удовлетворять параметры промежуточных скреплений.

Одним из факторов, повышающим напряженность работы элементов промежуточных скреплений, в частности, крепежителей, является уменьшение податливости рельсовых опор-блоков по сравнению со шпалами—сдвигу и повороту. Другим фактором, осложняющим работу промежуточных скреплений на блочных основаниях, являются относительные горизонтальные продольные перемещения рельсов и блоков.

Обобщая в совокупности все материалы по анализу рабо-

НТБ
ДНУЖТ

ты промежуточных креплений, отметим положительные стороны повышения упругих свойств узла крепления на блочном основании.

Упругие прокладки позволяют разъединить несущие элементы пути — рельсы и массивные опоры, — и тем самым улучшить условия динамической работы пути под поездной нагрузкой.

Повышение степени упругости креплений в вертикальном направлении с точки зрения особенностей статической работы подрельсового основания эквивалентно повышению весовой категории рельса.

Упругие свойства узла крепления в вертикальном направлении могут служить регулятором, позволяющим получить установленную рациональную степень упругости подрельсового основания в целом.

Полученный нами теоретическим путем рациональный уровень упругости подрельсового основания составляет 550—900 кг/см². По докладу автора комиссия путевого хозяйства НТС МПС, с учетом ряда экспериментальных работ, одобрила сделанные рекомендации, расширив пределы до 500 — 1000 кг/см².

Упругие свойства узла крепления в поперечном горизонтальном направлении обеспечивают улучшение динамического взаимодействия колеса и рельса в этом направлении, а также способствуют распределению горизонтального давления рельса на большее число крепежителей. Тем самым облегчается работа крепежителей, снижается концентрация напряжений в бетоне.

Надлежащие упругие свойства связи рельсы — блоки в продольном горизонтальном направлении могут существенно снизить относительное продольное проскальзывание элементов в зоне узла крепления. Это способствует существенному снижению уровня работы сил трения, реализуемой в этой зоне, и резкому снижению выхода элементов промежуточных креплений. Продольная упругость узла крепления приводит также к облегчению работы крепежителей под действием сил угона.

Таким образом, важнейшим требованием к промежуточным креплениям пути на блочных основаниях является повышение упругих свойств их в вертикальном, поперечном горизонтальном и продольном горизонтальном направлениях.

Более высокие к этим скреплениям должны быть предъявлены и некоторые другие требования конструктивного характера.

Анализ существующих конструкций скреплений не позволяет безоговорочно рекомендовать какую-либо из них. Определенные надежны в части создания совершенных скреплений для блочных оснований внушают конструктивные разработки лаборатории рельсовых скреплений ЦНИИ МПС на базе семейства БС.

Работа блоков и балластного основания

Для обеспечения наибольшего положительного эффекта от применения железобетонных блоков последние должны иметь рациональные физические параметры, конструктивные особенности и геометрические размеры. Проведенное исследование может служить основанием для изложения основных требований к некоторым из этих показателей, сводящихся к следующему.

Изгибная жесткость блоков относительно небольшой длины (до 5—6 м) должна быть небольшой и определяться при верхнем значении целесообразных пределов коэффициента армирования. Это требование обеспечит снижение неравномерности осадок блоков в стыках и в средней части, улучшение распределения напряжений в балластном слое и на основной площадке земляного полотна вдоль пути, снижение общих динамических воздействий на балластное основание, снижение изгибающих моментов в блоках.

Соответствующее этому требованию уменьшение толщины блока положительно скажется на уменьшении относительных горизонтальных продольных перемещений рельсов и блоков под нагрузкой за счет уменьшения перемещений поверхности! блоков.

Изгибная жесткость блоков большой длины ($l \gg 6$ м) или с монолитными стыками должна быть существенно большей, чем у блоков малой длины, и определяться при нижнем значении целесообразных пределов коэффициента армирования. Такое решение позволит ограничить, а возможно, и снизить весовую категорию рельсов, уменьшить общие просадки блоков. Некоторое повышение общих динамических воздействий на балластное основание в этом случае компенсиру-

НИИ
ДНУЖТ

ется увеличением площади, на которую передаются указанные воздействия.

Компенсации влияния увеличений толщины блоков на горизонтальные продольные перемещения их поверхности, а также влияния увеличенной массы на динамическое взаимодействие подвижного состава и пути можно добиться повышенном упругости узла скрепления.

Ширина опорной части несущих элементов блоков должна быть использована в качестве регулятора упругости подблочного основания. Наиболее рациональной с точки зрения работы блоков и пути в целом следует считать такую ширину опорной части блоков, которая обеспечивает наибольшую жесткость постели блоков.

* * *

Резюмируя результаты проведенного исследования в целом, в качестве перспективных конструкций пути для участков с весьма высокой грузонапряженностью назовем следующие:

1. В условиях невысокой интенсивности засорения щебеночной призмы целесообразной может оказаться конструкция блоков в виде жестких рам небольшой длины с ограниченной шириной опорной части для каждой рельсовой нити и малыми затратами железобетона на погонный метр пути. Рельсы в этом случае должны быть самой высокой весовой категории.

2. В условиях высокой интенсивности засорения щебеночной призмы целесообразна конструкция блоков в виде сплошных плит значительной длины с высоким моментом инерции поперечного сечения. В этом случае рельсы могут быть более легкого типа. Конкретно выбор типа рельсов определится степенью ограничения отрицательного влияния стыков блоков.

Для проверки технической эффективности и экономической целесообразности применения конструкций, указанных в пп. 1 и 2, необходимо продолжить работы по конструктивному совершенствованию блочных подрельсовых оснований и расширить эксплуатационные испытания усовершенствованных вариантов этих конструкций.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТАХ:

1. Волошко Ю. Д. Особенности расчета пути на сплошном крупноблочном железобетонном основании, труды ДИИТа, вып. 30, Днепропетровск, 1960.
2. Волошко Ю. Д. Исследование условий работы железобетонных плит в основании стрелочного перевода, труды ДИИТа, вып. 51, изд. Транспорт. М., 1964.
3. Волошко Ю. Д. Исследование напряженного состояния плиты стрелочного перевода методом фотоупругости, труды ДИИТа, вып. 51, изд. Транспорт. М., 1964.
4. Волошко Ю. Д. Исследование свободных колебаний колеса и рельса при переменной жесткости пути, труды ДИИТа, вып. 57, изд. Транспорт. М., 1965.
5. Волошко Ю. Д. Расчет рациональной упругости пути с блочными основаниями, труды МИИТ—ДИИТ, вып. 249, изд. Транспорт. М., 1967.
6. Волошко Ю. Д. Пути установления рациональной жесткости рельсовых нитей в горизонтальном поперечном направлении, тезисы докладов XVII научно-технической конференции, ДИИТ, Днепропетровск, 1967.
7. Волошко Ю. Д. Особенности горизонтального поперечного взаимодействия колеса и рельса, труды ДИИТа, вып. 78, Днепропетровск, 1967.
8. Волошко Ю. Д. Исследование на АВМ МН-7 реакций элементов пути на горизонтальное поперечное воздействие подвижного состава, труды ДИИТа, вып. 78, Днепропетровск, 1967.
9. Волошко Ю. Д. Уравнения колебаний 4-осного вагона с учетом параметров рельсов и подрельсовых опор в горизонтальной плоскости, труды ДИИТа, вып. 88, Днепропетровск, 1968.
10. Волошко Ю. Д. Особенности горизонтального продольного взаимодействия рельсов и железобетонных блоков подрельсового основания, труды ДИИТа, вып. 88, Днепропетровск, 1968.
11. Волошко Ю. Д. Теоретические исследования горизонтальных поперечных сил на участках пути с блочными основаниями, ЦНИИТЭИ МПС, серия «Путь и путевое хозяйство», вып. 42, М., 1968.
12. Фришман М. А., Шатерков В. И., Волошко Ю. Д., Орловский А. Н. О работе стрелочных переводов на железобетонных плитах», журнал «Путь и путевое хозяйство», № 7, 1963.
13. Фришман М. А., Шатерков В. И., Волошко Ю. Д., Орловский А. Н. Результаты исследований работы стрелочных переводов на железобетонных плитах, ЦИНТИ МПС, вып. 17, М., 1965.
14. Фришман М. А., Волошко Ю. Д., Орловский А. Н., Воробейчик Л. Я., Клименко В. Н. Исследования работы пути с блочными подрельсовыми основаниями, ЦИНТИ МПС, серия «Путь и путевое хозяйство», вып. 25, М., 1966.
15. Фришман М. А., Бондаренко Е. П., Волошко Ю. Д. и др. Исследование работы железобетонных оснований и рельсовых цепей на участках с автоблокировкой и электротягой поездов ЦИНТИ МПС, серия «Путь и путевое хозяйство», вып. 25, М., 1966.

НИИ
ДНУЖТ

16. Фришман М. А., Волошко Ю. Д. Об итогах годичных наблюдений за работой пути на сборных железобетонных подрельсовых основаниях из плит типа 4. ЦИНТИ МПС, серия «Путь и путевое хозяйство», вып. 34, 1967.

17. Фришман М. А., Волошко Ю. Д., Липовский Р. С., Орловский А. Н., Микитенко А. М., Воробейчик Л. Я. Результаты исследований работы стрелочных переводов типа Р65 на железобетонных плитах, ЦИНТИ МПС, серия «Путь и путевое хозяйство», вып. 34, М., 1967.

18. Фришман М. А., Волошко Ю. Д. Исследование сил взаимодействия и частот колебаний элементов пути с железобетонными подрельсовыми основаниями с помощью электрического моделирования, труды МИИТ—ДИИТ, вып. 249, изд. Транспорт. М., 1967.

19. Фришман М. А., Волошко Ю. Д., Орловский А. Н., Микитенко А. М. Испытание стрелочного перевода типа Р65 на железобетонных плитах под нагрузкой, труды ДИИТ, вып. 88., 1968.

НТБ
ДНУЖТ

ВТ 00491. Подписано к печати 30/VI-1989 г.
Бумага 60x84¹/₁₆. 2,25 печ. л. Заказ № 5926. Тираж 200 экз.
Газетное издательство и типография, г. Днепропетровск, Ленинградская, 56.

Сканировала Камянская Н.А.