СССР — МПС

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Инженер СУРИКОВ Евгений Георгиевич

625.143.5

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПУТИ НА ПЛИТАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОПИРАНИЯ РЕЛЬСОВ

(05.22.06 — железнодорожный путь)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1974

НТБ ДНУЗТ

СССР — МПС

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Инженер СУРИКОВ Евгений Георгиевич

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПУТИ НА ПЛИТАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОПИРАНИЯ РЕЛЬСОВ

(05.22.06 — железнодорожный путь)

67344

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1974

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НТБ ДИИТ

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор **М. А. Фришман**,
кандидат технических наук, доцент **Ю. Д. Волошко**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **М. П. Смирнов**,
кандидат технических наук **Л. П. Мелентьев**.

Ведущая организация:

Транспортное управление Министерства черной металлургии УССР

Автореферат разослан «15» сент 1974 г.

Защита диссертации состоится « дек 1974 г. на заседании Ученого совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзыв просим направлять в двух экземплярах по адресу: г. Днепропетровск, 10, Университетская, 2, ДИИТ, НИС.

Ученый секретарь совета доцент **В. Н. Плахотник**

НТБ ДНУЗТ

Претворение в жизнь решений XXIV съезда КПСС, наметившего обширную программу экономического и социального прогресса нашей Родины, требует ускоренного развития железнодорожного транспорта, увеличения пропускной и провозной способности железных дорог.

Успешное решение этих задач во многом зависит от состояния путевого хозяйства. Применение рельсов тяжелых типов, щебеночного балласта, увеличение толщины балластного слоя, а также уменьшение расстояний между шпалами позволили значительно повысить несущую способность верхнего строения пути, снизить величину и неравномерность передачи давления от рельсов на основную площадку земляного полотна. Но возможности дальнейшего повышения несущей способности пути при существующей конструкции верхнего строения весьма ограничены. Становится все более целесообразным рассмотрение вопроса о замене шпал железобетонными плитами.

Верхнее строение пути на блочном основании применяется у нас в опытном порядке как на магистральных железных дорогах, так и на путях металлургических заводов. На железных дорогах некоторых зарубежных государств также накоплен определенный опыт укладки пути на блочном железобетонном основании. Трудности, связанные с внедрением блочного рельсового основания, вызваны несовершенством технологии изготовления и укладки блоков, несовершенством технологии балластировки и содержания пути на блоках, а также особенностями работы пути на блочном основании.

Установлению этих особенностей, выбору расчетных схем и способов расчета рельсов и блоков посвящен ряд теоретических работ и экспериментальных исследований.

В первой главе приведен исторический обзор конструкций пути на блочном основании, применявшихся на советских и зарубежных железных дорогах, дан краткий анализ современных способов расчета пути с рельсовым основанием в виде железобетонных блоков.

НТБ ДНУЗТ

В 1952 г. И. В. Амеличевым были выполнены теоретические разработки по расчетам железобетонных плит. Практические методы расчета плит на упругом основании были предложены Б. Н. Жемочкиным и А. П. Синициным в 1962 г. Позже В. Ф. Афанасьев, Б. Г Брадул-Кириллов, В. Я. Клименко выполнили теоретические исследования, посвященные выбору расчетных схем и способов расчета элементов пути на блочном основании.

Вопросы, связанные с проектированием и расчетом модуля упругости рельсового основания детально рассмотрены в работах Г М. Шахунянца, Ю. Д. Волошко.

Большая работа по исследованию взаимодействия пути, уложенного на железобетонных блоках, и подвижного состава выполнена сотрудниками МИИТа, ДИИТа, ЦНИИ МПС.

Проблемные вопросы развития путевого хозяйства и связанные с этим задачи внедрения блочного рельсового основания сформулированы в работах Г М. Шахунянца, В. Г Альбрехта, А. Ф. Золотарского.

Большой вклад в развитие науки и решение проблем, связанных с поисками новых, более совершенных конструкций пути внесли доктора наук В. Г Альбрехт, С. В. Амелин, В. И. Ангелейко, М. С. Боченков, М. Ф. Вериго, В. Н. Данилов, О. П. Ершков, А. Ф. Золотарский, С. П. Першин, М. П. Смирнов, М. А. Фришман, Г М. Шахунянц, В. Я. Шульга, В. Ф. Яковлев.

При исследовании работы пути при различных условиях опирания рельсов нами были поставлены следующие задачи:

1. Усовершенствование методов расчета рельсов при опирании их на шпальное основание и методов расчета рельсов и плит при сплошном и прерывистом опирании рельсов на плиты.

2. Выбор на основании многовариантных расчетов рационального вида опирания рельсов на плиты и некоторых параметров пути на блочном железобетонном основании.

3. Установление особенностей работы рельсов и плит при различных условиях опирания рельсов на плиты и разработка практических предложений.

Рассмотренные задачи имеют практическое значение как для магистральных железных дорог, так и для путей промышленного транспорта. Для получения результатов при наибольших нагрузках эксперимент был проведен на путях металлургического завода.

НТБ ДНУЗТ

Во второй главе приведены теоретические исследования работы рельса при его опирании на отдельные равноупругие опоры, исследования работы элементов пути с блочным основанием при различных условиях опирания рельсов на блоки.

Для исследования факторов, влияющих на образование прогибов и изгибающих моментов в рельсах при сплошном и прерывистом опирании их на опоры, были выполнены многовариантные расчеты рельса на изгиб как неразрезной балки, лежащей на отдельных равноупругих опорах и на сплошном упругом основании.

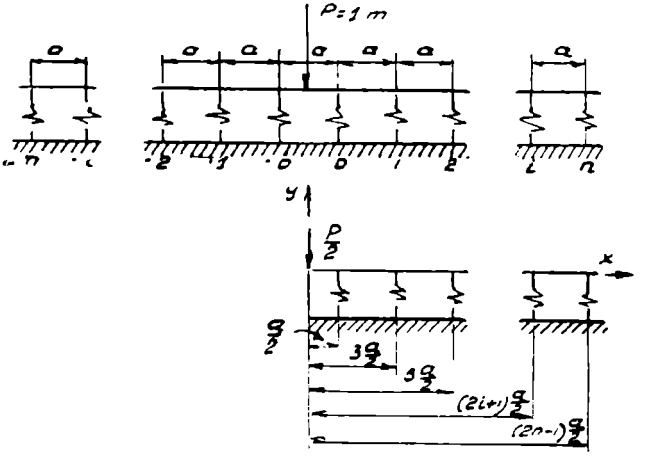

Рис. 1

В отличие от метода, разработанного профессором В. В. Григорьевым, в настоящей работе расчет рельса на изгиб как неразрезной балки на отдельных равноупругих опорах произведен с помощью операционного метода. Этот метод достаточно прост и позволяет выполнять расчеты рельса на изгиб при любых расстояниях между опорами и любых значениях модуля упругости рельсового основания. На основании формулы метода начальных параметров для половины балки (рис. 1) получено выражение для определения реакций R_i на i-й опоре:

$$R_i \quad r\left\{ y_c - \frac{M_c\left[\frac{(2i+1)a}{2}\right]^2}{2!E_p I_p} + \frac{P}{2}\cdot\frac{\left[\frac{(2i+1)a}{2}\right]^3}{3!E_p I_p} - \right.$$

НТБ ДНУЗТ

$$- R_0 \frac{(ia)^3}{3!E_рI_р} - R_1 \frac{[(i-1)a]^3}{3!E_рI_р} - R_2 \frac{[(i-2)a]^3}{3!E_рI_р} - \quad -$$

$$- R_{i-1} \frac{a^3}{3!E_рI_р} \Bigg\}. \qquad (1)$$

Здесь $У_с$ и $M_с$ соответственно прогиб и изгибающий момент посредине балки;

$E_рI_р$ — жесткость рельса;

r — реактивное сопротивление опоры, равное силе, приложенной к опоре и вызывающей ее упругую просадку на единицу глубины.

$$r = u \quad a \qquad (2)$$

где u — модуль упругости рельсового основания;

a — расстояние между опорами.

Количество опор n, вводимых в расчет, определяется условием, чтобы реакция на наиболее удаленной n-ой опоре была ничтожно малой.

Два дополнительных уравнения получены в результате использования граничных условий для средины и той точки балки, где прогибы и углы поворота сечения балки равны нулю.

$$У_с - \frac{M_с\left[\frac{(2n+1)a}{2}\right]^2}{2!E_рI_р} + \frac{P}{2}\frac{\left[\frac{(2n+1)a}{2}\right]^3}{3!E_рI_р} \quad R_0 \frac{(na)^3}{3!E_рI_р} -$$

$$- R_1 \frac{[(n-1)a]^3}{3!E_рI_р} - R_2 \frac{[n-2)a]^3}{3!E_рI_р} - \ldots - R_{n-1} \frac{a^3}{3!E_рI_р} = 0 \qquad (3)$$

$$\frac{M_с \frac{(2n+1)a}{2}}{E_рI_р} + \frac{P}{2}\frac{\left[\frac{(2n+1)a}{2}\right]^2}{2!E_рI_р} - R_0 \frac{(na)^2}{2!E_рI_р}$$

$$- R_1 \frac{[(n-1)a]^2}{2!E_рI_р} \quad R_2 \frac{[(n-2)a]^2}{2!E_рI_р} - \ldots - R_{n-1} \frac{a^2}{2!E_рI_р} = 0. \qquad (4)$$

Уравнения (3), (4) и n уравнений вида (1) образуют систему линейных уравнений, которую удобно записать в виде матрицы. После некоторых преобразований исходные расчетные формулы значительно упрощаются и, как показывает приводимый в таблице 1 пример матрицы для расчета балок на 14 упругих опорах, очень легко, пользуясь явно выражен-

НТБ ДНУЗТ

ными закономерностями, составить матрицу для расчета балок при любом количестве опор. Решение системы уравнений может быть выполнено на ЭЦВМ по стандартной программе.

Таблица 1

R_0	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	y_c	M_c	Правая часть
$\frac{6E_pI_p}{ua^4}$	0	0	0	0	0	$-\frac{6E_pI_p}{a^3}$	$\frac{3}{4a}1^2$	$\frac{1}{16}$
1	$\frac{6E_pI_p}{ua^4}$	0	0	0	0	$-\frac{6E_pI_p}{a^3}$	$\frac{3}{4a}3^2$	$\frac{3^3}{16}$
2^3	1	$\frac{6E_pI_p}{ua^4}$	0	0	0	$-\frac{6E_pI_p}{a^3}$	$\frac{3}{4a}5^2$	$\frac{5^3}{16}$
3^3	2^3	1	$\frac{6E_pI_p}{ua^4}$	0	0	$-\frac{6E_pI_p}{a^3}$	$\frac{3}{4a}7^2$	$\frac{7^3}{16}$
4^3	3^3	2^3	1	$\frac{6E_pI_p}{ua^4}$	0	$-\frac{6E_pI_p}{a^3}$	$\frac{3}{4a}9^2$	$\frac{9^3}{16}$
5^3	4^3	3^3	2^3	1	$\frac{6E_pI_p}{ua^4}$	$-\frac{6E_pI_p}{a^3}$	$\frac{3}{4a}11^2$	$\frac{11^3}{16}$
6^3	5^3	4^3	3^3	2^3	1	$-\frac{6E_pI_p}{a^3}$	$\frac{3}{4a}13^2$	$\frac{13^3}{16}$
6^2	5^2	4^2	3^2	2^2	1	0	$\frac{13}{a}$	$\frac{13^2}{16}$

Сравнение разультатов расчетов рельса на изгиб, как балки бесконечной длины на сплошном равноупругом основании и на отдельных равноупругих опорах, показывает, что при малых значениях модуля упругости рельсового основания могут быть использованы оба способа расчета. При этом разница в результатах расчетов не будет превышать 6%. Для реальных условий, характеризующихся, в частности, наличием отдельных выключенных опор, а также высокими значениями модуля упругости рельсового основания, применение расчетной схемы, в которой рельс представлен в виде балки на сплошном равноупругом основании, уже не оправдывается.

При исследовании работы пути на блочном основании рассмотрены вопросы, связанные с расчетом элементов пути при сплошном и прерывистом опирании рельсов на блоки.

НТБ ДНУЗТ

При рассмотрении случая сплошного опирания рельсов на блоки применены расчетные схемы, приведенные на рис. 2 и 3 и применительно к этим расчетным схемам использован способ расчета, предложенный к. т. н. В. Ф. Афанасьевым, который рассматривал блочное основание в виде бесконечной или полубесконечной балок.

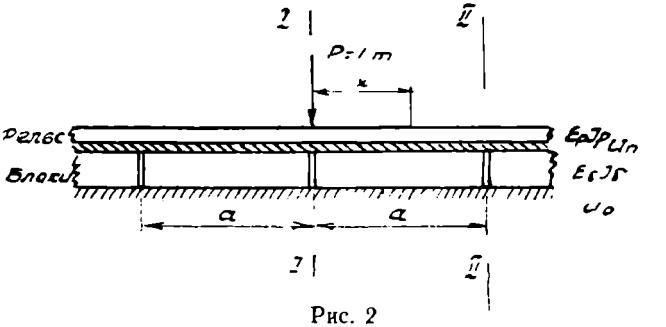

Рис. 2

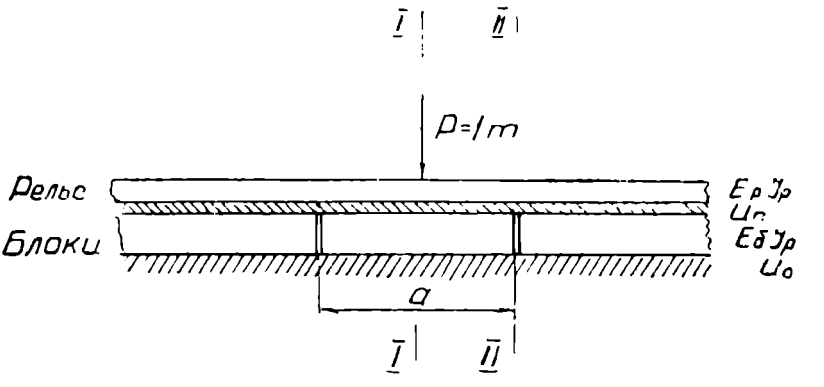

Рис. 3

В настоящей работе рельсовое основание в зоне приложения силы представлено в зависимости от вида примененной расчетной схемы одним-двумя блоками расчетной длины и далее — бесконечно длинным блоком.

В пределах блоков расчетной длины (см. рис. 2 и 3) рельс условно рассматривается как балка конечной длины, а за их пределами — как бесконечно длинная балка. В стыках эти части рельса связаны условиями равенства прогибов, углов поворота, изгибающих моментов и перерезывающих сил, т. е.

НТБ ДНУЗТ

рельс на всем протяжении представлен в виде неразрезной бесконечно длинной балки.

Условия равновесия рельсов и блоков представлены в виде дифференциальных уравнений

при $0 \quad x \leqslant a$

$$E_{\text{р}} I_{\text{р}} \frac{d^4 y_{\text{р}}^{(1)}}{dx^4} + U_{\text{п}}(y_{\text{р}}^{(1)} - y_{\text{б}}^{(1)}) = 0 \tag{5}$$

$$E_{\text{б}} I_{\text{б}} \frac{d^4 y_{\text{б}}^{(1)}}{dx^4} + U_{\text{п}}(y_{\text{б}}^{(1)} - y_{\text{р}}^{(1)}) + U_{\text{о}} y_{\text{б}}^{(1)} = 0 \tag{6}$$

при $x > a$

$$E_{\text{р}} I_{\text{р}} \frac{d^4 y_{\text{р}}^{(2)}}{dx^4} + U_{\text{п}}(y_{\text{р}}^{(2)} - y_{\text{б}}^{(2)}) = 0 \tag{7}$$

$$E_{\text{б}} I_{\text{б}} \frac{d^4 y_{\text{б}}^{(2)}}{dx^4} + U_{\text{п}}(y_{\text{б}}^{(2)} - y_{\text{р}}^{(2)}) + U_0 y_{\text{б}}^{(2)} = 0 \tag{8}$$

где $y_{\text{р}}$ — прогиб рельса;

$y_{\text{б}}$ — прогиб блока;

$E_{\text{р}} I_{\text{р}}$ — жесткость рельса;

$E_{\text{б}} I_{\text{б}}$ — жесткость блока;

$U_{\text{п}}$ — модуль упругости прокладок между рельсом и блоком;

U_0 — модуль упругости подблочного основания.

Величины U, $U_{\text{п}}$ и U_0 связаны между собой зависимостью

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_{\text{п}}} + \frac{1}{U_{\text{о}}}, \tag{9}$$

где U — модуль упругости рельсового основания.

В отличие от работы В. Ф. Афанасьева здесь рассматривается блочное основание, имеющее стык не только в сечении $x = 0$, но и в сечении $x \pm a$, поэтому математическая модель содержит две системы дифференциальных уравнений.

Решение системы уравнений (5) — (8) дает выражение:

а) для участка $0 \leqslant x \leqslant a$

$$y_{\text{р}}^{(1)} = \gamma_1(N_1^{(1)} e^{d_1 x} \cos d_1 x - N_2^{(1)} e^{d_1 x} \sin d_1 x + N_3^{(1)} e^{-d_1 x} \cos d_1 x + N_4^{(1)} e^{-d_1 x} \sin d_1 x) + \gamma_2(N_5^{(1)} e^{d_2 x} \cos d_2 x - N_6^{(1)} e^{d_2 x} \sin d_2 x + N_7^{(1)} e^{-d_2 x} \cos d_2 x + N_8^{(1)} e^{-d_2 x} \sin d_2 x) \tag{10}$$

$$y_{\text{б}}^{(1)} = N_1^{(1)} e^{d_1 x} \cos d_1 x - N_2^{(1)} e^{d_1 x} \sin d_1 x + N_3^{(1)} e^{-d_1 x} \cos d_1 x + N_4^{(1)} e^{-d_1 x} \sin d_1 x + N_5^{(1)} e^{d_2 x} \cos d_2 x - N_6^{(1)} e^{d_2 x} \sin d_2 x + N_7^{(1)} e^{-d_2 x} \cos d_2 x + N_8^{(1)} e^{-d_2 x} \sin d_2 x. \tag{11}$$

НТБ ДНУЗТ

б) для участка $x > a$

$$y_p^{(2)} = \gamma_1(N_3^{(2)} e^{-d_1 x}\cos d_1 x + N_4^{(2)} e^{-d_1 x}\sin d_1 x) + \\ + \gamma_2(N_7^{(2)} e^{-d_2 x}\cos d_2 x + N_8^{(2)} e^{-d_2 x}\sin d_2 x). \quad (12)$$

$$y_6^{(2)} \quad N_3^{(2)} e^{-d_1 x}\cos d_1 x \quad N_4^{(2)} e^{-d_1 x}\sin d_1 x + \\ + N_7^{(2)} e^{-d_2 x}\cos d_2 x + N_8^{(2)} e^{-d_2 x}\sin d_2 x \quad (13)$$

Здесь d_1, d_2, γ_1 и γ_2 — характеристики, зависящие от модуля упругости прокладок между рельсом и блоком, модуля упругости подблочного основания, жесткости рельса и блока.

Для определения постоянных интегрирования с использованием граничных условий для сечений I—I и II—II составлена система из 12 уравнений.

Максимальные значения величин прогибов и изгибающих моментов в рельсах и блоках в сечении I — I (при $x = 0$) определяются по формулам:

$$y_p = \gamma_1(N_1^{(1)} + N_3^{(1)}) + \gamma_2(N_5^{(1)} + N_7^{(1)}) \quad (14)$$

$$y_6 = N_1^{(1)} + N_3^{(1)} \quad N_5^{(1)} + N_7^{(1)} \quad (15)$$

$$M_p = -2E_p I_p[\gamma_1 d_1^2(N_2^{(1)} + N_4^{(1)}) + \gamma_2 d_2^2(N_6^{(1)} + N_8^{(1)})] \quad (16)$$

При расположении силы над срединой блока (рис. 3) при $x = 0$.

$$M_6 = -2E_6 I_6[d_1^2(N_2^{(1)} + N_4^{(1)}) + d_2^2(N_6^{(1)} + N_8^{(1)})]. \quad (17)$$

Для расчета пути на блочном основании как двухслойной балки с прерывистым опиранием рельсов на блоки приняты расчетные схемы, приведенные на рис. 4 и 5.

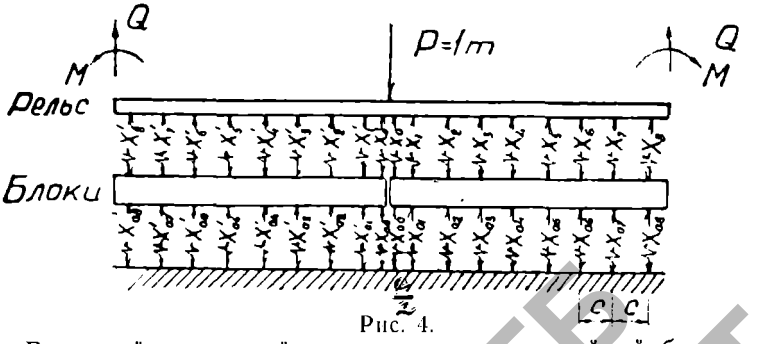

Рис. 4.

В первой расчетной схеме длина двухслойной балки принята равной удвоенной длине блоков основания; вертикальная нагрузка приложена к рельсу над стыком блоков.

НТБ ДНУЗТ

Во второй расчетной схеме длина двухслойной балки равна длине блока основания, вертикальная сила приложена к рельсу над срединой блока. Рельс представлен в виде балки конечной длины, равной расчетной длине двухслойной балки. Влияние той части рельса, которая находится за пределами расчетной схемы, учитывается соответствующими значениями величин изгибающих моментов M и перерезывающих сил Q_1 приложенных к рельсам над стыком блоков.

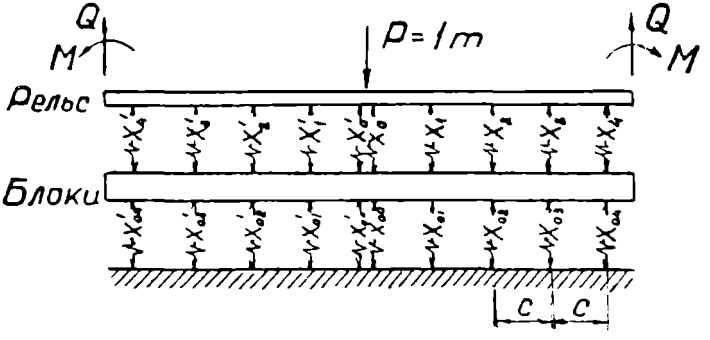

Рис. 5.

Для определения усилий и перемещений двухслойная балка разрезается пополам, в месте сечения условно вводится заделка, а реакции опор заменяются действием неизвестных сил X. Полученная статически неопределимая система решается смешанным способом с применением формул плоской деформации.

Принятый способ расчета элементов пути применительно к случаю прерывистого опирания рельсов на блоки представляет собой дальнейшее развитие способа расчета двухслойных балок, предложенного В. Я. Клименко, на основе метода расчета балок и плит, разработанного Б. Н. Жемочкиным и А. П. Синицыным.

В настоящем исследовании рассматривается наиболее неблагоприятный случай загружения, когда вертикальная сила приложена к рельсу над стыком блоков.

Система канонических уравнений для расчета элементов пути на блочном основании с 8 упругими опорами в пределах одного блока при расположении силы над стыком блоков имеет вид:

НТБ ДНУЗТ

$$
\left.
\begin{aligned}
& X_0\delta_{00} - \text{У}_{\text{р}} + \text{У}_{\text{б}} = 0 \\
& X_1\delta_{11} + X_2\delta_{12} + \ldots + X_8\delta_{18} + X_{01}\delta_{01.1} + X_{02}\delta_{01.2} + \ldots + \\
& \qquad + X_{08}\delta_{01.8} - \text{У}_{\text{р}} + \text{У}_{\text{б}} + 0{,}5a\varphi_{\text{б}} - \Delta_1 = 0 \\
& X_2\delta_{21} + X_2\delta_{22} + \ldots + X_8\delta_{28} + X_{01}\delta_{02.1} + X_{02}\delta_{02.2} + \ldots + \\
& \qquad + X_{08}\delta_{02.8} - \text{У}_{\text{р}} + \text{У}_{\text{б}} + 1{,}5a\varphi_{\text{б}} - \Delta_2 = 0 \\
& \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
& X_1\delta_{81} + X_2\delta_{82} + \ldots + X_8\delta_{88} + X_{01}\delta_{08.1} + X_{02}\delta_{08.2} + \ldots + \\
& \qquad + X_{08}\delta_{08.8} - \text{У}_{\text{р}} + \text{У}_{\text{б}} + 7{,}5a\varphi_{\text{б}} - \Delta_8 = 0 \\
& X_{00}\delta_{00.00} - \text{У}_{\text{б}} = 0 \\
& X_1\delta_{01.1} + X_2\delta_{01.2} + \ldots + X_8\delta_{01.8} + X_{01}\delta_{01.01} + X_{02}\delta_{01.02} + \ldots + \\
& \qquad + X_{08}\delta_{01.08} - \text{У}_{\text{б}} - 0{,}5a\varphi_{\text{б}} = 0 \\
& X_1\delta_{02.1} + X_2\delta_{02.2} + \ldots + X_8\delta_{02.8} + X_{01}\delta_{02.01} + X_{02}\delta_{02.02} + \ldots + \\
& \qquad + X_{08}\delta_{02.08} - \text{У}_{\text{б}} - 1{,}5a\varphi_{\text{б}} = 0 \\
& \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
& X_1\delta_{08.1} + X_2\delta_{08.2} + \ldots + X_8\delta_{08.8} + X_{01}\delta_{08.01} + X_{02}\delta_{08.02} + \ldots + \\
& \qquad + X_{08}\delta_{08.08} - \text{У}_{\text{б}} - 7{,}5a\varphi_{\text{б}} = 0 \\
& X_0 + X_1 + X_2 + \ldots + X_8 - \frac{P}{2} - Q = 0 \\
& X_{00} + X_{01} + X_{02} + \ldots + X_{08} - \frac{P}{2} - Q = 0 \\
& X_1 \cdot 0{,}5a + X_2 \cdot 1{,}5a + \ldots + X_8 \cdot 7{,}5a - X_{01} \cdot 0{,}5a - \\
& \qquad - X_{02} \cdot 1{,}5a - \ldots - X_{08} \cdot 7{,}5a = 0
\end{aligned}
\right\}
\qquad (18)
$$

где

$X_0, X_1\ X_2 \ldots X_8$ — неизвестные силы между рельсом и блоком (верхние силы);

$X_{00}, X_{01}, X_{02} \ldots X_{08}$ — неизвестные силы между блоком и земляным полотном (нижние силы);

φ — угол поворота блока;

δ — перемещения от действия сил X;

Δ — перемещения от внешних сил;

a — расстояние между опорами.

Для приближения к действительным условиям опирания рельсов на блоки вычисленные величины перемещений δ_0 увеличены в 100 раз, т. е. жесткость нулевой опоры практически сведена к нулю.

Изгибающие моменты в рельсах (рис. 4) определены по формулам

$$
M_{\text{р}} = X_0 \frac{a}{8} + X_1 \cdot 0{,}5a + X_2 \cdot 1{,}5a + \ldots +
+ X_n(n - 0{,}5a) - M - Q \cdot n \cdot a. \qquad (19)
$$

НТБ ДНУЗТ

Значение изгибающих моментов в блоках при расположении силы над срединой блока (рис. 5)

$$M_б = (X_0 - X_{00})\frac{a}{4} + (X_1 - X_{01})a + (X_2 - X_{02})2a + \ldots + (X_n - X_{0n})\cdot n \cdot a. \quad (20)$$

Были выполнены многовариантные расчеты пути на блочном основании при сплошном и прерывистом опирании рельсов на блоки, в результате которых установлены зависимости величин прогибов и изгибающих моментов в рельсах и блоках от типа рельсов, длины блоков, модуля упругости рельсового основания и величины отношения модуля упругости прокладок между рельсом и блоком к модулю упругости подблочного основания $U_п$ $U_о$. Основные итоги этих расчетов приведены в разделе «Выводы».

Расчеты показали, что при всех видах опирания рельсов наиболее существенное влияние на величину изгибающих моментов и изгибных напряжений в рельсах оказывает модуль упругости рельсового основания. При блочном основании влияние упругости прокладок между рельсом и блоком на величину изгибающих моментов в рельсах наиболее существенно сказывается непосредственно в сечении под силой, в то время, как влияние упругости подблочного основания связано с длиной блоков и вызывает изменение изгибающих моментов в рельсах в сечениях, близких к стыку блоков. Поэтому при приложении силы к рельсу над стыком блоков изгибающие моменты в рельсах всегда больше, чем при приложении силы над срединой блока.

Но и при расположении силы над стыком блоков изгибающие моменты в рельсах будут меньшими, чем при шпальном рельсовом основании, поскольку и в этом случае сказывается распределяющее влияние блоков.

При сплошном опирании рельсов на плиты изгибные напряжения в рельсах на 2—11% меньше, чем при прерывистом опирании их на блоки и на 3—23% меньше, чем при опирании их на отдельные упругие опоры.

Наиболее существенно эта разница проявляется при высоких значениях модуля упругости рельсового основания, длинных блоках и рельсах легких типов.

При сплошном опирании рельсов создаются наиболее благоприятные условия для работы рельсов на изгиб, неравномерность в уровне напряжений по длине рельса при обеспечении соотношения $\frac{U_п}{U_о} \leqslant 1$ сводится к минимуму.

НТБ ДНУЗТ

Некачественное изготовление плит основания при прерывистом опирании рельсов на плиты может привести к выключению из работы отдельных опор и вызвать еще более значительное увеличение изгибающих моментов в рельсах по сравнению с изгибающими моментами в рельсах при сплошном опирании их на плиты.

При изготовлении плит со сплошным опиранием рельсов на них вероятность образования длинных неровностей в плоскости опорных площадок значительно меньше, чем вероятность отклонения от общего уровня отдельных опор на плитах с прерывистым опиранием рельсов на них.

Для изучения сил взаимодействия вагона и пути, вызванных наличием неровностей на пути и колесах подвижного состава, на АВМ были выполнены исследования некоторых особенностей вертикального взаимодействия вагона и пути с блочным рельсовым основанием.

В качестве основной возмущающей функции принята специфическая для пути на блочном основании неровность, длина которой равна длине блока, и неровность на колесах, вызванная эксцентричностью насадки колес на оси.

Исследования позволили сделать вывод, что наихудшие показатели взаимодействия подвижного состава и пути имеют место в тех случаях, когда длина блока примерно равна базе тележки вагона, то есть при коротких блоках основания.

Именно в этих условиях возникают наибольшие силы в рессорных комплектах, на контакте колеса и рельса, на контакте рельса с подрельсовыми опорами. Исследования на АВМ показали, что по условиям обеспечения плавности движения экипажей в продольной вертикальной плоскости целесообразной является длина блока, равная удвоенной длине базы тележки.

В третьей главе рассмотрены результаты экспериментальных исследований работы элементов пути с железобетонными плитами при различных способах опирания рельсов на плиты.

Испытания семи опытных участков пути, в том числе двух участков на блочном основании, были проведены на Днепродзержинском металлургическом заводе им. Дзержинского путеиспытательной лабораторией ДИИТа и кафедрой сопротивления материалов Днепродзержинского индустриального института под общим руководством профессора Фришмана М. А. при участии автора.

На первом участке с блочным основанием путь был уложен на плитах с прерывистым опиранием рельсов на них че-

НТБ ДНУЗТ

рез металлические подкладки. На втором участке обеспечивалось сплошное опирание рельсов на плиты через упругие прокладки.

Согласно программе экспериментальных исследований определялись следующие показатели работы верхнего строения пути под нагрузкой:

1. Нормальные напряжения в рельсах.
2. Вертикальные прогибы и горизонтальные отжатия рельсов.
3. Вертикальные перемещения рельсовых опор.
4. Напряжения на поверхности железобетонных плит.
5. Силы, передаваемые от колес на рельсы.

В процессе испытаний определялись вертикальная жесткость рельсовых нитей, состояние пути в плане и профиле.

На опытных участках обращались следующие виды подвижных нагрузок:

1. Чугуновозы на двух двухосных тележках (средняя осевая нагрузка 35,0 т).
2. Слитковозы на двух двухосновных тележках (средняя осевая нагрузка 40,3—44,2 т);
3. Слитковозы на двух трехосных тележках (средняя осевая нагрузка 33,0 т).

При существующих нагрузках металлургических заводов напряжения в рельсах Р50 при шпальном основании особенно в кривых участках пути превышали допустимые.

Проведенные испытания показали, что замена шпального основания блочным при сплошном опирании рельсов Р50 на плиты даже в условиях снижения модуля упругости рельсового основания с 452 до 315 кг/см^2 приводит к уменьшению изгибных напряжений в рельсах на 1—17%.

Во время испытаний было установлено, что уплотнение балластного основания под плитами было неравномерным и это вызвало резкую смену напряженного состояния плиты и величин изгибных напряжений в плите.

Результаты проведенных испытаний подтвердили основные закономерности изменения величин прогибов и изгибающих моментов в рельсах и блоках, установленные в результате выполнения теоретических расчетов и, как это видно из таблицы 2, показывают вполне удовлетворительную сходимость с данными расчетов.

Расхождения в значениях расчетных и экспериментальных величин изгибных напряжений в рельсах имеют место лишь при прерывистом опирании рельсов на плиты, когда отклоне-

НТБ ДНУЗТ

ние от общего уровня верха опорных площадок отдельных опор привело к выключению из работы этих опор, а следовательно, и к значительному увеличению расстояний между опорами, что в свою очередь послужило причиной возрастания изгибающих моментов и изгибных напряжений в рельсах. Результаты проведенных испытаний показали преимущество блочного рельсового основания перед шпальным, особенно при сплошном опирании рельсов на блоки.

Таблица 2

Характеристика участков пути	U кГ см$^{-2}$	Расчетные			Экспериментальные		
		Вид нагрузки					
		чугуновозы	4—осн. слитковозы	6—осн. слитковозы	чугуновозы	4—осн. слитковозы	6—осн. слитковозы
Прогибы рельсов, мм							
Р50, шпалы ж. б.	452	3,5	3,8	3,2	3,4	3,3	3,0
Р65, шпалы ж. б.	224	2,4	2,6	2,2	2,0	2,0	2,0
Р50, плиты ж. б. прерывистое опирание	270	3,2	3,8	3,1	3,2	3,5	3,4
Р 50, плиты ж. б., сплошное опирание	315	3,1	3,6	2,9	2,9	3,0	2,7
Изгибные напряжения в рельсах, кГ/см^2							
Р50, шпалы ж. б.	452	1095	1265	900	1090	1070	930
Р65, шпалы ж. б.	224	1005	1060	760	1100	1130	970
Р50, плиты ж. б. прерывистое опирание	270	1070	1130	810	1700	1780	1610
Р50, плиты ж. б. сплошное опирание	315	1020	1080	770	1000	1100	840

ВЫВОДЫ:

1) с помощью рассмотренных в исследовании методов статического расчета конструкций пути были выполнены многовариантные расчеты элементов пути на блочном основании, в результате которых определены величины прогибов и изгибающих моментов в рельсах и блоках, возникающих под воздействием вертикальных нагрузок. Данные теоретических исследований хорошо согласуются с результатами проведенного эксперимента.

Это позволяет рекомендовать приведенные в исследовании методы для статического расчета элементов пути на блочном

НТБ ДНУЗТ

основании при сплошном и прерывистом опирании рельсов на блоки.

2) Из двух видов опирания рельсов на блоки наилучшие условия для работы рельсов на изгиб обеспечиваются при сплошном опирании рельсов на плиты.

3) В итоге теоретических исследований, подтвержденных экспериментами, установлено, что при блочном рельсовом основании уменьшение величин прогибов и изгибных напряжений в рельсах может быть достигнуто путем применения рельсов тяжелых типов, опирающихся на длинные блоки, при высоких значениях модуля упругости рельсового основания и высоких значениях отношения модуля упругости прокладок между рельсом и блоком $U_п$ к модулю упругости подблочного основании U_0. В то же время наименьшая разница в величинах прогибов и изгибающих моментов в рельсах в сечениях над стыками и над срединой блоков может быть обеспечена при минимальных значениях величин соотношения $\frac{U_п}{U_0}$.

В случае, когда отношение $\frac{U_п}{U_0} = 1$ модуль упругости прокладок между рельсом и блоком равен модулю упругости подблочного основания, разница в величинах изгибающих моментов в рельсах посредине и над стыками блоков не будет превышать 4,5—5,5%. Изгибающие моменты в рельсах, опирающихся на блоки длиной 4,16 м на 1,5—2,5% меньше, чем при опирании их на блоки длиной 2,08 м. Наиболее существенное влияние на уменьшение изгибающих моментов в рельсах оказывает повышение модуля упругости рельсового основания до 800—1000 кг/см².

При повышении U с 300 до 800 кг/см² изгибающие моменты в рельсах снижаются на 25—27%, а при повышении U до 1000 кг/см² — на 41—44%.

4) Значения величин прогибов и углов поворота блоков будут наименьшими при:

а) рельсах тяжелых типов;

б) длинных блоках основания;

в) высоких значениях модуля упругости рельсового основания;

г) минимальных величинах соотношения $\frac{U_п}{U_0}$.

Меньшие величины прогибов и углов поворота блоков соответствуют тем участкам пути, на которых высокие значения

6434а

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

ДНУЗТ

модуля упругости рельсового основания сочетаются с минимальными значениями отношения $\frac{U_п}{U_о}$.

Существенное уменьшение углов поворота блоков может быть достигнуто за счет применения блоков длиной 3,12 м и более. В то же время применение блоков длиной более 4,16 м приводит к возрастанию изгиба блоков и усложняет работы, связанные с выправкой пути по уровню.

5) Наименьшие величины изгибающих моментов в блоках будут при:

а) рельсах тяжелых типов;

б) коротких блоках;

в) малых значениях модуля упругости рельсового основания;

г) минимальных величинах отношения $\frac{U_п}{U_о}$.

Уменьшение величин изгибающих моментов в блоках может быть достигнуто путем повышения жесткости подблочного основания как при неизменных значениях модуля упругости рельсового основания, так и при неизменных значениях жесткости узла скрепления. При неизменных значениях модуля упругости рельсового основания уменьшение величин изгибающих моментов в блоках можно достичь также путем снижения модуля упругости прокладок между рельсом и блоком.

6) В отдельных случаях наблюдается противоречивое влияние некоторых характеристик (например, длина блоков, модуль упругости рельсового основания, величина соотношения $\frac{U_п}{U_о}$) на величины прогибов и изгибающих моментов в рельсах и блоках.

В настоящем исследовании установлены основные закономерности изменения величин прогибов и изгибающих моментов в рельсах и блоках в зависимости от указанных выше характеристик. Вопрос о выборе значений длины блоков, модуля упругости подрельсового основания и величины соотношения $\frac{U_п}{U_о}$ в перспективе следует решать путем оптимизации.

7) Опалубка для плит с прерывистым опиранием рельсов имеет сложную конфигурацию, что приводит к удорожанию работ по ее изготовлению и в то же время не способствует точности соблюдения геометрических размеров плиты. Опа-

НТБ ДНУЗ

лубка для плит со сплошным опиранием рельсов на них более проста в изготовлении.

Проведенные исследования статического изгиба рельсов и блоков, а также некоторых вопросов взаимодействия подвижного состава и пути на блочном основании позволили рекомендовать следующее:

1. При укладке пути на блочном основании целесообразно применение блоков со сплошным опиранием рельсов на них. Такие блоки должны иметь малую длину для того, чтобы можно было производить выправку пути за счет подбивки сравнительно коротких блоков. Однако теоретические исследования показывают, что при длине блоков менее 3,12 м наблюдается существенное увеличение углов поворота блоков то есть возникает угроза потери устойчивости блоков на балласте.

2. Учитывая, что по данным теоретических исследований изгибные напряжения в рельсах при сплошном опирании их на блоки на 6—10% ниже, чем при прерывистом опирании (по данным эксперимента эта разница оказалась значительно большей), можно полагать, что при прочих равных условиях, может оказаться целесообразным снижение веса рельсов при укладке путей со сплошным опиранием рельсов на блоки. Это положением должно быть проверено в производственных условиях.

3. При проектировании промежуточных скреплений для случая сплошного опирания рельсов на блоки следует исходить из условий:

а) применения скреплений с упругими элементами;

б) возможности регулирования упругости узла скрепления для изменения модуля упругости рельсового основания и величины соотношения $\frac{U_п}{U_о}$

При сплошном опирании рельсов на плиты имеется возможность сократить расстояние между осями промежуточных скреплений и за счет этого уменьшить жесткость узла скрепления при обеспечении достаточного погонного сопротивления продольному перемещению рельсовой нити. Это позволит уменьшить концентрацию сил взаимодействия в узле скрепления, вызывающих повышенный износ и расстройство узла прикрепления рельса к основанию. При бесподкладочных промежуточных скреплениях некоторое увеличение количества скреплений не вызовет значительного увеличения капитальных затрат.

НТБ ДНУЗТ

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Фришман М. А., Волошко Ю. Д., Белых К. Д., Суриков Е. Г Преимущество сплошного опирания рельсов на железобетонные блоки при больших осевых нагрузках. Ж. Промышленный транспорт, 1972 г., № 2, с. 15—16.

2. Малышко Г. Н., Фришман М. А., Белых К. Д., Волошко Ю. Д., Суриков Е. Г Важный фактор повышения эффективности внутризаводского транспорта. Ж. Металлургическая и горнорудная промышленность, 1973 г. № 4 с. 88—89.

3. Волошко Ю. Д., Суриков Е. Г. Исследования на АВМ некоторых особенностей вертикального взаимодействия вагона и пути с блочным подрельсовым основанием. Труды ДИИТа, 1973 г., вып. 142, с. 10—21.

4. Суриков Е. Г. Влияние характера опирания рельса на его работу при изгибе. Труды ДИИТа, 1973 г., вып. 142, с. 119—128.

5. Суриков Е. Г Метод статического расчета элементов пути с блочным основанием. Труды ДИИТа, 1974 г., вып. 148, с. 136—150.

Результаты работы были доложены на юбилейной научно-технической конференции в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта 1 марта 1974 г.

БТ 25015. Областная книжная типография
Днепропетровского областного управления по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, г. Днепропетровск, ул. Серова, 7.
Заказ № 2872. Тираж 150. Объем 1,25 п. л. Подписано к печати 28.VI-74 г.

НТБ ДНУЗТ

Сканировала Щетинина Т.В.