

СССР — МПС

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Аспирант А. Н. ТАТУРГВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДУКЛОНКИ
НА НАПРЯЖЕНИЯ В РЕЛЬСАХ И ИХ ДЕФОРМАЦИИ
В КРИВЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ
НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛАХ

Специальность № 432 «Железнодорожный путь»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1968

Аспирант А. П. ТАТУРЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДУКЛОНКИ
НА НАПРЯЖЕНИЯ В РЕЛЬСАХ И ИХ ДЕФОРМАЦИИ
В КРИВЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ
НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛАХ

Специальность № 432 «Железнодорожный путь»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1968

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта направляет Вам для ознакомления автореферат диссертации аспиранта **А. П. Татуревича**.

Просим Вас и всех заинтересованных лиц Вашего учреждения принять участие в публичной защите диссертации или прислать свой отзыв в письменном виде в 2-х экземплярах по адресу:

г. Днепропетровск-10, Университетская, 2. ДИИТ.

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Научный руководитель —
доктор технических наук, профессор **М. А. Фришман**.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук **О. П. Ершков**,
кандидат технических наук **З. Л. Крейнис**

Ведущее предприятие — Главное управление пути и сооружений Министерства путей сообщения.

Автореферат разослан « **5** » **ноября** 1968 г.

Защита диссертации состоится « **10** » **декабря** 1968 г. на заседании Совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета

Ю. А. РАДЗИХОВСКИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Программой КПСС и директивами XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966—1970 годы предусмотрено значительное повышение веса и скоростей движения поездов, увеличение грузонапряженности, внедрение тепловозной и электровозной тяги.

В области путевого хозяйства для выполнения поставленных задач намечено внедрение бесстыкового пути, тяжелых типов рельсов, железобетонных шпал и блочных рельсовых оснований.

В связи с этими задачами появляется необходимость в расширении исследований напряженно-деформированного состояния рельсов и креплений, установления научно обоснованных норм устройства и допусков содержания конструкций верхнего строения пути.

Настоящая работа посвящается исследованию влияния подуклонки на напряжения в рельсах и их деформации в кривых участках пути на железобетонных шпалах. Влияние подуклонки на работу рельсов под поездной нагрузкой исследуется комплексно как по внутренней, так и по наружной нитям кривой. Задача решается теоретическим и экспериментальным путем с использованием ЭЦВМ, а также современных средств тензометрии. Результаты, полученные в теории, проверяются специальными экспериментами, проведенными на реальном пути.

В итоге работы даны определенные рекомендации, которые использованы Главным Управлением пути и сооружений МПС при уточнении норм и допусков устройства и содержания подуклонки рельсов в кривых участках пути.

1. Состояние вопроса

Подуклонка рельсов во многом определяет характер взаимодействия колеса и рельса. Изменение величины подуклонки неизбежно сказывается на изменении сроков службы и объема расходов по содержанию и ремонту верхнего строения пути.

Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные у нас в стране М. А. Чернышевым, В. Ф. Яковлевым, Ю. Д. Волошко, З. Л. Крейнисом, А. К. Шафрановским, Н. З. Белоусовым и др., позволили установить ряд закономерностей работы пути под нагрузкой в зависимости от подуклонки рельсов. Установлено, что даже незначительное изменение величины подуклонки довольно существенно изменяет условия работы не только рельсов, но и пути в целом.

В проведенных исследованиях были выдвинуты рекомендации и по уменьшению подуклонки рельсов до величины порядка $1/30$, $1/40$ и по ее увеличению до величины $1/16$, $1/10$, $1/12$ и даже $1/7$. Следует однако отметить, что предлагаемые мероприятия по уменьшению подуклонки относятся лишь к прямым участкам пути. Предложения по увеличению подуклонки относятся к наружным нитям кривых.

Особенно большой интерес представляет исследование подуклонки рельсов в кривых участках пути, характеризующихся повышенным силовым воздействием подвижного состава на путь.

Вопрос о рациональной величине подуклонки рельсов в кривых приобретает особую остроту в связи с массовым внедрением на сети дорог железобетонных шпал, для которых нормы и допуски в содержании подуклонки, по конструктивным соображениям, применяются такие же, как и для деревянных шпал.

Указанные выше исследования рациональной подуклонки рельсов в кривых проводились в основном на деревянных шпалах. При этом, изучение влияния подуклонки на условия работы наружного и внутреннего рельса в кривых проводились раздельно без учета их совместной работы.

Настоящая работа посвящена изучению влияния подуклонки на напряжение в рельсах и их деформации в кривых участках пути на железобетонных шпалах.

2. Теоретическое исследование влияния подуклонки на напряжения в рельсах и их деформации в кривых

В современных расчетах пути на прочность отсутствует непосредственный учет подуклонки рельсов. Последняя учитывается наряду с действием боковых сил и эксцентрично приложенных вертикальных сил коэффициентом f получаемым экспериментальным путем.

В условиях интенсивного роста грузонапряженности, нагрузок на ось и скоростей движения поездов в кривых участ-

ках пути возникают значительные вертикальные и боковые силы, передающиеся от колеса на рельс. При этом, подуклонка рельсов оказывает существенное влияние на величину и характер пространственных деформаций рельсов, возникающих при прохождении подвижного состава. Для оценки этого влияния можно воспользоваться методикой расчета рельса на действие вертикальных и боковых сил, разработанной О. П. Ершовым. Согласно этой методике рельсовая нить рассматривается как балка бесконечной длины, лежащая на сплошном упругом основании, характеристики которой задаются модулями упругости: при вертикальном изгибе — U_y , горизонтальном изгибе — U_z и кручении рельсовой нити — U_φ . Величина указанных модулей упругости определяется опытным путем.

Расчет рельса на действие вертикальных и боковых сил ведется на основании решения системы дифференциальных уравнений совместного изгиба и кручения рельса:

$$\begin{aligned} EJ_z \frac{d^4 y}{dx^4} + U_y \cdot y &= 0 \\ EJ_y \frac{d^4 z}{dx^4} + U_z^T z - U_\varphi h_2 \varphi &= 0 \\ Dh^2 \frac{d^4 \varphi}{dx^4} - C \frac{d^2 \varphi}{dx^2} + U_\varphi \varphi - U_z^T h^2 z + U_z h^2 \varphi &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

где E — модуль упругости рельсового металла;
 J_y — момент инерции поперечного сечения рельса относительно вертикальной оси y ;
 J_z — момент инерции рельса относительно поперечной горизонтальной оси z (продольная горизонтальная ось X направлена вдоль рельса);
 Z — поперечные перемещения центра изгиба рельса;
 Y — вертикальные перемещения центра изгиба рельса;
 X — ось абсцисс, совмещенная с центром изгиба рельсовой нити;
 φ — угол закручивания рельса;
 C — жесткость рельса на кручение;
 D — приведенная жесткость головки и подошвы рельса на изгиб;
 h_2 — расстояние от низа подошвы рельса до центра его кручения;
 h_Q — плечо перерезывающей силы;

$U_z^{(r)}$ — модуль упругости рельсового основания при горизонтальном изгибе с учетом сил трения подошвы рельса по основанию.

Решение системы уравнений (1) дано в виде конечных расчетных формул, вполне пригодных для практического применения. При решении системы дифференциальных уравнений (1) наибольшее затруднение вызывает отделение и нахождение корней.

В указанной выше работе отделение корней характеристического уравнения системы (1) приведено с применением метода Бюдана и Фурье. Нахождение и отделение корней по этому методу основано на исследовании характеристического уравнения системы (1) с численными значениями его коэффициентов $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$. Особенностью этих коэффициентов является то, что они могут быть заранее определены для существующих конструкций пути, при этом в большинстве случаев всегда имеет место неравенство $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3 > \alpha_4$. Убывание указанных коэффициентов по направлению к младшим происходит весьма быстро. Нахождение и уточнение корней уравнения (1) является действительным для большинства современных конструкций верхнего строения пути.

В данной работе весь процесс по нахождению корней уравнения (1) рассмотрен с применением ЭЦВМ. При этом был использован метод итераций, который оказался весьма эффективным применительно к системе уравнений (1)

В результате были получены приближенные формулы конечного вида для определения вещественных корней уравнения (1):

$$r = \pm \sqrt{\frac{\alpha_1}{2} \pm \sqrt{\frac{\alpha_1^2}{4} - \varepsilon \alpha_2}} \quad (2)$$

где коэффициент ε — коэффициент, равный 0,64 (для Р50) и 0,61 (для Р65).

Сравнение результатов расчетов по определению корней уравнения (1) по указанной выше методике и по формуле (2) показало достаточно хорошую их сходимость. Весь расчет при этом ведется при условии, что вертикальные силы действуют вдоль оси симметрии рельса, а боковые — перпендикулярно им. Однако наличие подуклонки рельсов вызывает отклонение действующих сил на угол β соответствующий наклону рельсов внутрь колеи. Действие указанных сил в этом случае можно заменить их составляющими в направлении ин-

тересующих нас координатных осей. Тогда расчеты можно производить практически для любых значений величин, направлений и точек приложения равнодействующей. Эта особенность расчетной схемы позволяет учесть влияние подуклонки рельсов в расчетах рельса на действие вертикальных и боковых сил, несмотря на то, что вектор общего давления от подуклонки практически не зависит. Для этого необходимо знать величину, направление и точку приложения равнодействующей фактического давления колеса на рельс.

В кривых участках пути, где возвышение наружного рельса поставлено по средневзвешенной скорости, в большинстве случаев имеет место движение грузовых поездов со скоростями близкими к равновесной скорости. В этом случае равнодействующая сил тяжести и центробежных сил инерции практически направлена по оси наклонного пути. Если ограничиться рассмотрением условий движения поездов в кривых со скоростью близкой к равновесной, то можно считать, что независимо от подуклонки рельсов вертикальное давление P^{\max} будет направлено к плоскости наклона пути, а боковое давление H^{\max} — параллельно ей.

Используя решение уравнений (1) можно учесть таким образом влияние подуклонки на величину и характер распределения напряжений в рельсах и их деформаций.

Подуклонка рельсов в этом случае будет иметь отклонение лишь на величину вертикальной и горизонтальной составляющих фактического давления колеса на рельсы, направление которых зависит от положения поперечного сечения рельса и коничности бандажа.

В расчеты, таким образом, необходимо вводить вместо вертикальной силы $P^{\max}_{д}$ и боковой $H^{\max}_{д}$ алгебраические суммы их составляющих $P^{\max}_{д \cdot п}$ и $H^{\max}_{д \cdot п}$ ¹

$$H^{\max}_{д \cdot п} = H^{\max}_{д} \cos \beta - P^{\max}_{д} \sin \beta \quad (3)$$

$$P^{\max}_{д \cdot п} = P^{\max}_{д} \cos \beta + H^{\max}_{д} \sin \beta \quad (4)$$

¹ в расчетах берутся максимальные вероятные значения $H^{\max}_{д}$ для наиболее неблагоприятных случаев, $P^{\max}_{д}$

где β — угол подуклонки до приложения сил.

Алгебраическая сумма составляющих в направлении оси Z — $H_{д.п}^{\max}$ и будет искомой приведенной величиной бокового давления колеса на рельс, а алгебраическая сумма составляющих в направлении оси Y — $P_{д.п}^{\max}$ — приведенной величиной вертикального давления с учетом подуклонки рельса.

Крутящий момент при действии на подуклоненный рельс нормальной к плоскости пути и поперечной составляющих нагрузок от колеса на рельс определяется формулой:

$$M_{кр} = H_{д}^{\max} h_1' \cos \beta - P_{д}^{\max} h_1 \sin \beta - P_{д}^{\max} e_0 \cos \beta - \\ - H_{д}^{\max} b^{(r)} / 2 \sin \beta \quad (5)$$

где $b^{(r)}$ — ширина головки рельса;

h_1' — расстояние от центра кручения рельса до места приложения боковой силы;

h_1 — расстояние от верха головки рельса до центра кручения;

e_0 — эксцентриситет места контакта колеса и рельса.

При движении поезда по кривой со скоростью больше равновесной возникает перегруз наружной рельсовой нити, а при движении со скоростью меньшей равновесной перегруз и возможность потери устойчивости внутренней нити. В этих случаях при определении напряжений в рельсах можно также пользоваться предлагаемой методикой. При этом необходимо учитывать фактическое направление равнодействующей давления колеса на рельс, а величину ее определять с учетом перегруза или разгрузки в зависимости от конкретных условий.

Для производства расчетов необходимо знать величину эксцентриситета приложения нагрузки (e_0). С этой целью были проведены специальные опыты, а также некоторые графические расчеты по определению пределов изменения мест контакта колеса с рельсом в зависимости от его подуклонки. На основании суммарного анализа опытных и расчетных материалов настоящих исследований, а также материалов ЦНИИ и ВЗИИТа можно сделать вывод о том, что в процессе эксплуатации рельсов могут иметь случаи контакта колеса и рельса в пределах всей ширины головки рельса. В расчетах таким образом необходимо принимать крайние значения e_0 .

Расчеты по определению напряжений в рельсах и их деформаций по изложенной методике с учетом влияния подуклонки требуют громоздких математических вычислений. Задача значительно упрощается при применении ЭЦВМ. Все вычисления в данной работе производились на ЭЦВМ «Проминь». Для этой цели автором была составлена специальная программа, состоящая из четырех основных и трех вспомогательных подпрограмм.

Для оценки влияния подуклонки рельсов на деформации и напряжения в рельсах были произведены расчеты для пути с рельсами типа Р50, железобетонными шпалами типа С-56-2, 1840 шт/км на щебеночном балласте, скрепления типа КБ.

Модули упругости рельсового основания $U_y = 1150 \text{ кг/см}^2$, $U_z = 290 \text{ кг/см}^2$, $U_\varphi = 28000 \text{ кг/радиан}$ были приняты на основании опытных данных. Для расчетов были приняты величины эксцентриситета контактного следа $e_0 = \pm 22 \text{ мм}$ и $e_0 = 0$, а подуклонка $-0,1/60, 1/40, 1/20, 1/12, 1/10$. Значения вертикальных сил $P_{\text{д}}^{\text{max}}$ определялись по правилам расчета железно-

дорожного пути на прочность, а боковых сил $N_{\text{д}}^{\text{max}}$ по статистическому графику-паспорту бокового воздействия 4-х осного полувагона в кривых.

Все расчеты производились для случая движения четырехосного полувагона на тележках ЦНИИ-ХЗ-0 с величинами непогашенных центробежных ускорений $\alpha_{\text{нп}} = +0,9 \text{ м/сек}^2$; $-1,0 \text{ м/сек}^2$ и $\alpha_{\text{нп}} = 0$.

Расчеты проводились как с учетом влияния смежных осей по вертикальным и боковым силам, так и без него. Анализ этих расчетов показал, что неучет влияния смежных осей по боковым силам приводит к погрешности, не превышающей 2—3%.

Результаты расчетов по определению приведенной боковой силы, деформаций рельсов и напряжений в них для случаев движения вагона с равновесной скоростью, т. е. для случаев, когда $\alpha_{\text{нп}} = 0$ ($v = 70 \text{ км/ч}$, $h = 100 \text{ мм}$, $R = 500 \text{ м}$) приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, с увеличением подуклонки от 0 до $1/10$, приведенная боковая сила уменьшается от 5400 кг до 3445 кг. Максимальное вероятное значение вертикального давления в этом случае равно 19390 кг.

Анализ полученных результатов показывает, что под действием колес первых осей тележек вагона в более неблагоприятных условиях работают рельсы наружной нити кривой.

Н а р у ж н а я	Рельсовая нить кривой												
	Подушечка рельса в незагруженном состоянии $tg\beta$												
	Экстен триситет при-ложения нагрузки e_0 мм												
Приведенная боковая сила N_{max} кг _{дп}													
Вертикальная просадка рельса U_0 мм													
Горизонтальные отжа-тия головки рельсов Z_0^r мм													
Величина изменения подушечки в динами-ке $tg\varphi_0$													
Боковое давление на прикрепители Q^0 кг _з													
Касательные напряжения													
Нормальные напряжения в рельсах													
наружной грани													
головки $\sigma_{\text{нр}}$ кг/см ²													
внутренней гра-ни головки $\sigma_{\text{вн}}$ кг/см ²													
наружной кроме подшвы $\sigma_{\text{нр}}$ кг/см ²													
внутренней кром-ке подшвы $\sigma_{\text{нр}}$ кг/см ²													
0	0 +22 -22	5400 5400 5400	1,32 1,32 1,32	2,60 1,48 3,74	-1:98 -1:636 -1:52	2160 2545 1795	325 50 595	1015 160 1870	360 -380 1110	-2700 -1990 -3480	1570 2130 1010	385 -180 940	
0 1:60	0 +10 -22	5075 5075 5075	1,32 1,32 1,32	2,35 1,87 3,41	-1:113 -1:193 -1:59	2070 2225 1725	280 165 540	880 515 1685	200 -110 910	-2580 -2260 -3280	1580 1820 1060	370 135 900	
1:40	0 +10 -22	4910 4910 4910	1,32 1,32 1,32	2,23 1,76 3,25	-1:122 -1:215 -1:63	2020 2245 1690	260 150 510	820 465 1595	135 -175 815	-2505 -2200 -3185	1585 1820 1080	370 140 875	
1:20	0 +22 -22	4425 4425 4425	1,32 1,32 1,32	1,88 0,97 2,80	-1:157 -1:1872 -1:75	1875 2165 1575	205 -15 430	645 -55 1345	-75 -690 540	-2300 -1680 -2910	1590 2045 1130	365 -90 820	
1:12	0 +10 -22	3770 3770 3770	1,32 1,32 1,32	1,46 1,11 2,20	-1:234 -1:600 -1:100	1655 1770 1410	140 55 330	445 175 1040	-330 -565 195	-2040 -1800 -2565	1570 1745 1180	385 210 770	
1:10	0 +22 -22	3445 3445 3445	1,32 1,32 1,32	1,26 0,61 0,96	-1:204 +1:589 -1:116	1540 1775 1330	115 -60 290	355 -185 905	-445 -920 45	-1930 -1450 -2415	1550 1915 1200	400 40 755	

Здесь наиболее напряженными являются внутренняя грань головки рельса и наружная кромка подошвы рельса. В первом случае имеют место напряжения сжатия, во втором напряжения растяжения.

В зависимости от величины подуклонки напряжения сжатия во внутренней грани головки наружного рельса изменяются с 3480 кг/см^2 (при подуклонке 0 и $e_0 = -22 \text{ мм}$) до 2415 кг/см^2 (при подуклонке $1/10$ и $e_0 = -22 \text{ мм}$)

Расчеты показали, что при $\alpha_{\text{нп}} = -1,0 \text{ м/сек}^2$, когда более напряжена внутренняя нить кривой, и при $\alpha_{\text{нп}} = +0,9 \text{ м/сек}^2$, когда более напряжена наружная нить, пределы изменений напряжений во внутренней грани головки составили:

- а) при $\alpha_{\text{нп}} = -1,0 \text{ м/сек}^2$: -2330 кг/см^2 (подуклона 0) и -1470 кг/см^2 подуклона $1/10$)
- б) $\alpha_{\text{нп}} = +0,9 \text{ м/сек}^2$ — 4970 кг/см^2 (подуклона 0) и -3700 кг/см^2 (подуклона $1/10$)

Напряжения растяжения в кромках подошвы рельса несущественно зависят от подуклонки.

При прочих равных условиях большей подуклонке соответствуют меньшие касательные напряжения, боковые отжатия головки рельса, а следовательно, и боковые давления рельсов на прикрепители.

В общей оценке деформированного состояния рельсовых нитей в кривых важно оценить изменение подуклонки рельсов в динамике. Как показали расчеты, подуклонка рельсов под нагрузкой при малых скоростях движения изменяется в сторону переуклонки до величины порядка $+1/300$, а при больших скоростях (40 км/час и более) — в сторону разуклонки ($-1/40$).

Изменение подуклонки в динамике зависит не только от величины непогашенного центробежного ускорения и уровня боковых сил, но и от эксцентриситета контакта колеса с рельсом, в зависимости от которого может иметь место под одними и теми же осями как переуклонка, так и разуклонка.

С увеличением подуклонки незагруженных рельсов с $1/20$ до $1/10$ изменение подуклонки в динамике уменьшается при любой скорости движения. (Например, при $v = 100 \text{ км/ч}$, разуклонка уменьшается с $1/40$ до $1/60$).

В итоге проведенных исследований можно сделать вывод о том, что с увеличением подуклонки рельсов в рассматриваемых пределах условия работы их в кривых облегчаются.

3. Экспериментальные исследования

Для проверки результатов расчетов были проведены специальные экспериментальные исследования*

Испытания проводились на трех участках. Опытный поезд состоял из двух четырехосных полувагонов на тележках ЦНИИ—ХЗ—О и двух шестиосных (один из которых был с тележками УВЗ-9^м, а второй с тележками УВЗ-10^м). В состав были включены две секции тепловоза ТЭ7. Весь комплекс испытаний состоял из 6 циклов. Техническая характеристика участков и каждого цикла приведена в табл. 2.

Таблица 2

№№ опытных участков	Участок пути	Тип рельсов	Тип шпал	Скрепление	Возвышение наружного рельса мм	№№ циклов	Фактическая подуклонка незагруженных рельсов		Общее к-во измерений регистрируемых одновременно на осциллограмме	Общее к-во заездов опытного состава
							наружной нити	внутренней нити		
I	Прямая	Р 50	С—56—2	КБ	—	1	1:21	1:21,5	120	99
II	Кривая $R=500$ м	Р 50	С—56—2	КБ	100	2	1:21,8	1:14	156	115
						3	1:65	1:64	156	89
						4	1:24	1:26	156	75
III	Кривая $R=500$ м	Р 50	Деревянные составные	костыльный стандарт	80	5	1:23,3	1:20	120	72
						6	1:13	1:11,5	120	78

Подуклонка рельсов изменялась при помощи клиновидных металлических прокладок с подуклонкой 1/30, укладываемых между подошвой рельсов и подкладками. Заезды опытного состава осуществлялись со скоростями 5, 25, 40, 70 и 100 км/ч. Во время опытов регистрировались следующие величины: напряжения в кромках подошвы и наружной грани головки рельсов; вертикальные силы, передающиеся от рельса на подкладки; упругие горизонтальные отжатия головки и подошвы рельсов; вертикальные прогибы шпал; вертикальные силы, возникающие в закладных и клеммных болтах скрепления; характе-

* Исследования выполнялись путепытательной лабораторией ДИИТа (научный руководитель — профессор М. А. Фришман) при участии автора.

ристики пространственной упругости рельсовых нитей; места контакта колеса с рельсом.

Кроме того, были проведены статистические наблюдения за изменением подуклонки рельсов Р50 на железобетонных шпалах в кривых в процессе эксплуатации. Наблюдения проводились в кривых, где внутренняя нить имела подуклонку 1/20 при возвышениях наружного рельса 90, 110, 120, 125, 130 и 140 мм.

Статистическая обработка полученных экспериментальных данных производилась на ЭЦВМ «Проминь».

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что напряжения в кромках подошвы рельсов не существенно зависят от подуклонки рельсов. При этом оказалось, что при подуклонке 1/60 напряжения в кромках подошвы рельса несколько больше, чем при подуклонке 1/20 и 1/12.

Следует отметить, что при подуклонке 1/12 напряжения в наружной и внутренней кромках подошвы рельса распределяются более равномерно, чем при других величинах подуклонки. Так, например, разница между величинами максимальных вероятных напряжений при скоростях 100 км/ч в наружной и внутренней кромках наружной рельсовой нити кривой при подуклонке 1/12, 1/20, 1/60 оказалась равной соответственно 600, 740 и 870 кг/см². Аналогичный характер распределения напряжений в кромках подошвы рельсов имел место и по внутренней нити кривой.

По измеренным напряжениям от изгиба в наружных гранях головки и кромках подошвы рельса определялись напряжения во внутренней грани головки рельса (наиболее напряженной части рельса). Так, максимальные вероятные напряжения во внутренних гранях головки рельса при скорости 100 км/ч оказались равными 2270 кг/см² при подуклонке 1/12, 2320 кг/см² при подуклонке 1/20 и 2600 кг/см² и при подуклонке 1/60.

Для сравнения отметим, что то теоретическим исследованиям для данных условий опыта эти напряжения оказались равными соответственно 2880 кг/см² при подуклонке 1/12, 3170 кг/см² при подуклонке 1/20 и 3500 кг/см² при подуклонке 1/60.

Измерения боковых отжатий головки и подошвы рельсов, усилий в закладных и клеммных болтах скреплений типа КБ показали, что наибольшие значения отжатий рельса и усилий в болтах скреплений имели место при подуклонке 1/60.

Анализ осевых прогибов рельсов показал, что они не зависят от подуклонки последних во всех рассмотренных случаях. Полученные по прогибам кромок подошвы рельса величины

изменения подуклонки рельсов под нагрузкой показали, что при малых скоростях движения по обеим нитям кривой, как правило, имеет место переуклонка под обеими осями тележек, при увеличении скорости до 70—100 км/ч наблюдается разуклонка. В среднем изменение подуклонки рельсов под нагрузкой колеблется в пределах от 1/200 до—1/500. Максимальные вероятные значения изменений подуклонки рельсов получены в пределах: $\pm 1/40$, т. е. значительно больше средних значений. Наибольшие из максимальных вероятных значений изменений подуклонки рельсов имели место при подуклонке незагруженных рельсов 1/60, а наименьшие значения — при подуклонке 1/12.

На величину и знак изменения подуклонки рельсов в динамике существенно влияет изгиб шпалы в подрельсовых зонах. По данным опыта, изгиб железобетонных шпал под нагрузкой вызывает изменение подуклонки, составляющее 6 — 8% от общего ее изменения, а деревянных — соответственно на 20 — 40%.

Статистические наблюдения показали, что в кривых на железобетонных шпалах происходит остаточная разуклонка рельсов (порядка 1/30). На опытных участках пути с подуклонкой внутренней рельсовой нити 1/20 при возвышениях от 90 до 140 мм, так же как и в местах с возвышениями менее 85 мм, не было замечено каких-либо недопустимых упругих и остаточных деформаций рельсо-шпальной решетки. К сожалению, эти выводы пока базируются на небольшом статистическом материале и нуждаются в дальнейшей проверке.

4. Общие выводы и практические предложения *)

1. При определении корней дифференциальных уравнений совместного изгиба и кручения рельсовой нити эффективно применять итерационный метод с использованием ЭЦВМ.

2. В расчетах пути на прочность, особенно в условиях высокоскоростного движения поездов, необходимо учитывать влияние подуклонки рельсов.

3. Величина подуклонки в диапазоне допусков в ее содержании (от 1/12 до 1/60) несущественно влияет на исследованные показатели работы пути под нагрузкой, а именно: напряжения в рельсах, пространственные перемещения рельсовых нитей под нагрузкой, боковые давления рельсов на прикрепители,

* Все выводы и предложения относятся к конструкции пути на железобетонных шпалах, обеспечивающих подуклонку рельсов за счет подрельсовых площадок шпал.

усилия в закладных и клеммных болтах скреплений. Однако с увеличением подуклонки рельсов с $1/20$ до $1/10$ наблюдается тенденция к монотонному уменьшению напряжений в рельсах и их деформации.

В частности, при увеличении подуклонки рельсов с $1/20$ до $1/10$ напряжения во внутренних гранях головки рельса уменьшаются на величину порядка 18 — 20%.

4. Для улучшения условий работы рельсов под нагрузкой целесообразно некоторое увеличение подуклонки обеих рельсовых нитей в кривых на железобетонных шпалах.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие практические предложения.

1. Подуклонку рельсов внутренней нити кривых на участках пути с железобетонными и деревянными шпалами, независимо от величины возвышения наружной нити над внутренней, можно делать такой же, какая придана наружной нити.

2. С точки зрения облегчения работы внутренней зоны поверхности катания головки рельса и снижения опасности появления контактных разрушений, а также уменьшения расстройств колеи целесообразно увеличить подуклонку рельсов в кривых по сравнению с принятой в настоящее время $1/20$.

3. Во избежание осложнения конструкции пути, особенно, на переходных кривых нормы подуклонки на кривых и прямых участках должны быть одинаковыми. Поэтому для окончательного решения вопроса об установлении норм подуклонки на кривых и прямых участках целесообразно заложить опытные участки с увеличенной подуклонкой как и на кривых так и на прилегающих прямых участках.

4. Проверку целесообразности увеличения подуклонки рельсов необходимо производить на участках высокоскоростного движения поездов где возникают значительные поперечные горизонтальные силы. В этих условиях увеличение подуклонки рельсов может оказаться весьма положительным как для кривых, так и для прямых участков пути на железобетонных шпалах.

1. **Татуревич А. П.** Влияние подуклонки на напряженно-деформированное состояние рельсов в кривых участках пути. Труды ДИИТа, вып. 78, Днепропетровск, 1967.

2. **Фришман М. А., Волошко Ю. Д., Леванков И. С., Татуревич А. П.** Исследование влияния подуклонки на работу рельсов в кривых участках пути с железобетонными шпалами. Вестник ВНИИЖТ'а, № 3, 1968 г.

3. **Фришман М. А., Волошко Ю. Д., Леванков И. С., Орловский А. Н., Татуревич А. П.** Подуклонка рельсов в кривых. «Путь и путевое хозяйство», № 5, 1968.

4. **Фришман М. А., Волошко Ю. Д., Леванков И. С., Орловский А. Н., Татуревич А. П.** Исследование подуклонки рельсов на железобетонных шпалах в кривых». ЦИНТИ МПС. Серия «Путь и путевое хозяйство», вып. 34, 1967.

Сканировала Семенова Т.Л.