

СССР - МПС
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
имени М.И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

625.143.5

Аспирант РАДЫЧУК Виктор Алексеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ОПТИМАЛЬНЫХ
РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ
СКРЕПЛЕНИЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ

(05.22.06 - Железнодорожный путь)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1975

СССР - МПС

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА имени М.И. Калянина

На правах рукописи

Аспирант РАДЫЧУК Виктор Алексеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ОПТИМАЛЬНЫХ
РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ
СКРЕПЛЕНИЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ

(05.22.06 - Железнодорожный путь)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1975

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

6431a

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта им. М.И. Калинина .

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор М.А.Фришман

Официальные оппоненты

доктор технических наук, профессор М.С.Бочевков ,
кандидат технических наук, доцент В.И.Новикович .

Ведущая организация -

Управление Юго-Западной железной дороги .

Автореферат разослан " 7 " октября 1975 г.

Защита диссертации состоится 13 ноября 1975 года на заседании Ученого Совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта им. М.И.Калинина (320629 г. Днепропетровск, 10 , ул. Университетская, 2) .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Просим Вас принять участие в работе Совета или прислать свой отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью , в адрес института, ученому секретарю .

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук, доцент

 (Лебедев Л.Н.)

Общая характеристика работы

Актуальность работы . Директивами XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 г.г. предусматривается дальнейшее усиление верхнего строения пути за счет укладки железобетонных шпал, бесстыкового пути и термически обработанных рельсов, повышения уровня механизации путевых работ.

Массовое применение железобетонных шпал требует решения ряда технических проблем в том числе вопроса надежного прикрепления рельсов к железобетонным подрельсовым опорам .

В этой связи в настоящее время уделяется большое внимание разработке новых и совершенствованию существующих типов промежуточных скреплений. Задача получения скреплений, которые удовлетворяли бы всем требованиям, предъявляемым к ним, не может быть решена без определения оптимальных расчетных параметров .

Таким образом, определение оптимальных параметров промежуточных скреплений представляет важную задачу, решение которой позволяет улучшить работу скреплений и пути в целом, а также снизить затраты на его текущее содержание .

Цель работы. Диссертационная работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию основных оптимальных расчетных параметров промежуточных скреплений для железобетонных шпал. Главное направление исследования - установление важнейших параметров в том числе оптимальной жесткости узла скрепления и его отдельных элементов в вертикальной плоскости.

Работа содержит историю вопроса, теоретическую и экспериментальную часть, анализ материалов наблюдений за работой опытных

типов креплений в условиях эксплуатации, практические выводы и рекомендации .

Научная новизна работы заключается в определении рациональных значений модуля упругости подрельсового основания по нескольким основным критериям, составлении целевой функции, решение которой на ЭВМ дает возможность установить оптимальное значение модуля упругости (U_{opt}) расчетным путем . На основании U_{opt} вычислены основные оптимальные параметры промазочных креплений для железобетонных шпал .

Практическая ценность работы заключается в разработке методики определения оптимального модуля упругости подрельсового основания – важнейшей расчетной характеристики пути и уточнении его численных величин .

Разработанные алгоритмы позволяют произвести расчеты оптимального модуля упругости и уточнить его численные значения.

На основе расчетных значений U_{opt} получены важнейшие параметры креплений : оптимальная жесткость узла крепления в целом и его отдельных упругих элементов в вертикальной плоскости .

Оптимальные расчетные параметры можно использовать при проектировании новых типов креплений , а также для оценки существующих. На основе найденных и рекомендуемых значений оптимальных характеристик жесткости могут быть улучшены перспективные конструкции креплений .

Реализация результатов исследования. Результаты исследования нашли применение при

корректировке параметров промазочных креплений для железобетонных шпал ;

улучшения конструкции опытных креплений типа БП и ЖБР .

Основное содержание работы

В первой главе изложены состояние вопроса и цели исследования. Приводится критический анализ развития конструкции креплений для железобетонных шпал, а также дается анализ исследований по расчетным параметрам этих креплений.

Вторая глава названа "Теоретическое исследование рационального модуля упругости подрельсового основания по основным критериям".

Установление оптимальной упругости пути в вертикальной плоскости один из острых вопросов, требующих решения при использовании железобетонных шпал. Численно эта характеристика может быть оценена модулем упругости подрельсового основания, который является важнейшей расчетной характеристикой пути в целом.

При определении рациональной упругости пути расчетным путем можно исходить из ряда основных условий : обеспечения наименьших силовых воздействий на путь, наименьших изгибных и контактных напряжений в рельсах, наименьшего сопротивления движению поезда, наименьших напряжений в шпалах, балласте, на основной площадке земляного полотна.

Для блочных подрельсовых оснований теоретический расчет рационального модуля упругости по одному из этих критериев был выполнен доц. Д.Д.Волошко .

Нами были рассмотрены и вычислены рациональные значения модуля упругости для железобетонных шпал по всем названным критериям. В итоге была составлена целевая функция, объединяющая эти критерии. Эта функция позволяет определить оптимальное

значение модуля упругости подрельсового основания по совокупности рассматриваемых критериев.

Для определения рационального модуля упругости по критерию обеспечения наименьшего уровня максимального динамического воздействия колеса на рельс ($P_{дин}^{max} = \min$) выражения $P_{дин}^{max}$ исследовалось на минимум в зависимости от упругих характеристик пути.

Исследование на минимум максимальной динамической колесной нагрузки на первый взгляд может оказаться неправомерным, так как нагрузка от колеса на рельс является случайной величиной. Исследование же на минимум случайной величины не имеет смысла. Однако речь идет об исследовании на минимум не самой случайной величины, а ее моментов – математического ожидания и дисперсии.

В исследовании принято, что при неизменных параметрах системы указанные характеристики случайной величины являются константами. При изменении параметров системы они становятся переменными (но не случайными) и, как всякие переменные, могут быть исследованы на экстремум.

Для решения поставленной задачи по критерию $P_{дин}^{max} - \min$ в качестве структурной основы примем формулу из проекта редакции откорректированных «Правил производства расчетов верхнего строения железнодорожного пути на прочность», 1970 г. и преобразования этой формулы, выполняемые в ДИИТ"е (см. сборник трудов ДИИТ"а. Вып. 249, 1967 г.)

$$P_{дин}^{max} = P_{дин}^{ср} + \sqrt{S_p^2 + \frac{a}{4K^3 EJ} + e. + 4\theta K^3 EJ + 16ск^0(EJ)^2} \cdot 25(I)$$

где

$$\begin{aligned} a &= \varphi^2 q P_{cp}^2 v^2 \\ b &= \frac{\varphi^2}{\varphi_1^2} q v^2 i_{geom}^2 + 0,00436(1-q_1) \frac{v^4}{a^4} q; \\ e_1 &= 2 \frac{\varphi^2}{\varphi_1} q P_{cp} v^2 i_{geom} \\ c &= 0,25 \alpha_0^2 a_1^2 y_{max}^2 q_1. \end{aligned} \quad (2)$$

Обозначения в формулах (1) и (2) те же, что и в «Правилах ...» и преобразованиях, выполненных в ДИИТ"е (см. сборник трудов ДИИТ"а, вып. 249, 1967 г.).

Функция $P_{дин}^{max}$ имеет экстремум относительно коэффициента относительной жесткости рельса и подрельсового основания K . Рациональные значения K и $U_{рац}$ были найдены из уравнения

$$-\frac{3a}{4K^4 EJ} + 12bK^2 EJ + 96cK^5(EJ)^2 = 0. \quad (3)$$

Для решения уравнения (3) относительно параметра K нами был разработан алгоритм многовариантных расчетов и программа. Все расчеты производились на ЭЕМ «Напри».

Нами были найдены $U_{рац}$ для широкого диапазона геометрических уклонов неровностей пути $i_{geom} = 0 - 2,1 \text{ ‰}$ с учетом особенностей воздействия всех основных типов подвижного состава.

Следует отметить, что на величину рационального модуля упругости $U_{рац}$ большое влияние оказывают величины уклонов геометрических неровностей пути (i_{geom})

В этой связи вопрос о выборе расчетного значения K имеет очень важное значение. Уровень геометрических неровностей зависит от состояния пути.

В настоящей работе используются данные большого цикла исследований, проведенных под руководством проф. Г.М. Шахуняца. Эти исследования показали, что при отличном содержании пути с железобетонными шпалами диапазон i_{geom} составляет 0,75–0,97 ‰.

Расчеты показали, что при $i_{geom} = 0,9$ ‰ в диапазоне скоростей 80–120–160 км/ч модуль упругости имеет целесообразное значение по рассматриваемому критерию от 250 до 450 кг/см².

Исследования рациональной жесткости по остальным критериям сделаны также при $i_{geom} = 0,9$ ‰. Кроме того проведены расчеты для широкого диапазона геометрических неровностей в пределах от 0 до 2,1 ‰.

Для определения рационального модуля упругости по критерию обеспечения наименьших изгибных напряжений в рельсах ($\sigma_{rel}^{u32} = \min$) было последовано на минимум выражение для σ_k (кромочных напряжений). В результате было получено следующее уравнение

$$\frac{P_{gmin}^{cp}}{K} [e^{-Kx} (\sin Kx - \cos Kx - 2Kx \cos Kx) - 1] S_1 \left(\frac{2,5}{K} \right)^2 + 1,25 D = 0,$$

где

$$S_1 = \sqrt{S_p^2 + \frac{a}{4K^3 EJ} + e_1 + 4\beta K^3 EJ + 16K^6 c (EJ)^2}$$

$$D = \left[\frac{3a}{4K^4 EJ} + 12K^2 \beta EJ + 96cK^5 (EJ)^2 \right] \quad (4)$$

В результате решения уравнения (4) на ЭВМ „Найри“ получены рациональные значения модуля упругости подрельсового основания ($U_{рац}$) по критерию $\sigma_{рел}^{u32} = \min$

Эти значения находятся в пределах нереальных величины модуля упругости 25000–28000 кг/см²

Рациональные значения модуля упругости подрельсового основания по критериям обеспечения наименьших напряжений в шпалах ($\sigma_{ш} = \min$) и балласте ($\sigma_{бал} = \min$) были получены из уравнения

$$P_{дин}^{cp} [2e^{-kx} (\cos kx + \sin kx - 2kx \sin kx) + f] S_1 + 2,5S_2^2 + 1,25kD = 0 \quad (5)$$

Решение уравнения (5) осуществлялось на ЭВМ „Найри“ по критериям $\sigma_{ш} = \min$ и $\sigma_{бал} = \min$, не превышают 30 кг/см².

Влияние упругости пути на величину контактных напряжений в рельсах ($\sigma_{конт}$) можно рассмотреть, используя выражение, предложенное проф. Н.М. Беляевым

$$\sigma_{конт} = \alpha \sqrt[3]{\frac{\rho_{дин}^{max} F^2}{R^2}} \quad (6)$$

где α – коэффициент, зависящий от отношения радиусов поверхностей катания колеса и рельса; для четырехосных вагонов

$\alpha = 0,44$; R – радиус колеса

Подставив в формулу (6) значение $\rho_{дин}^{max}$ и исследовав его на минимум, получим уравнение, аналогичное выражению (3).

Отсюда $U_{рац}$ по критерию $\sigma_{конт} = \min$ для реального пути будет также в диапазоне 250–450 кг/см²

Для определения рационального модуля упругости по критерию

обеспечения наименьшего сопротивления движению колеса по рельсу в части зависающей от пути (\mathcal{W}_n) воспользуемся выражением, предложенным проф. М.Ф.Вериго

$$\mathcal{W}_n = \frac{250 \bar{p} K^2}{u^2} z, \quad (7)$$

где \bar{p} — среднее динамическое давление колеса на рельс, в кг ;
 z — параметр рассеяния энергии в пути, в кг/см².

Анализ этой формулы показывает, что с увеличением жесткости подрельсового основания сопротивление движению колеса по рельсу уменьшается.

На рис.* показан график изменения \mathcal{W}_n в зависимости от коэффициента K . Из рис. видно, что \mathcal{W}_n не имеет экстремума. С увеличением жесткости пути \mathcal{W}_n асимптотически приближается к нулю. Однако, начиная от $K = 0,019$ (что соответствует модулю упругости 3000 кг/см² при рельсах Р65), с увеличением коэффициента относительной жесткости рельса и подрельсового основания \mathcal{W}_n уменьшается незначительно.

В этой связи целесообразно ограничить значения рассматриваемого модуля упругости по названному критерию до 3000 кг/см².

Нами были определены рациональные значения модуля упругости по критерию обеспечения наименьших напряжений на основной площадке земляного полотна ($\sigma_n = \min$). Формулы для определения $U_{\text{рац}}$, вследствие громоздкости, здесь не приводятся. Функция $\bar{\sigma}_n = f(K)$ имеет экстремум. В результате исследования этой функции на минимум полученное $U_{\text{опт}}$ по названному критерию не превышает 10 кг/см².

* См. стр. 24.

В третьей главе приводятся методика и расчет основных оптимальных расчетных параметров промежуточных креплений для железобетонных шпал .

Для того, чтобы найти оптимальное решение с учетом ряда критериев необходимо составить целевую функцию, которую следует минимизировать .

Полученные значения рационального модуля упругости по ряду основных критериев имеют различные значения.

В этой связи окончательное оптимальное значение этого модуля определялось по совместному учету всех рассматриваемых условий при помощи математических методов оптимальных решений.

Для определения оптимального значения модуля упругости нами составлена целевая функция, которая включает зависимость изгибных и контактных напряжений в рельсах, максимального динамического воздействия колеса на путь, напряжений в шпалах и балласте от упругих характеристик пути - модуля упругости подрельсового основания (U) и коэффициента относительной жесткости рельса и подрельсового основания K

$$Z = \rho_1 \frac{d P_{\text{гип}}^{\text{max}}}{d K} + \rho_2 \frac{d \sigma_{\text{рел}}^{\text{изг}}}{d K} + \rho_3 \frac{d \sigma_{\text{шп}}}{d K} + \rho_4 \frac{d \sigma_{\text{бал}}}{d K} + \rho_5 \frac{d \sigma_{\text{конт}}}{d K} = \min, \quad (8)$$

где $\rho_i (i=1, 2, 3 \dots 5)$ - масштабные коэффициенты .

В нашем случае они равны единице, т.к. функции, входящие в состав целевой, вычисляются не в приведенных единицах измерения, а натуральных (кг/см^2 , кг) . Определение значений целевой функции в зависимости от K производилось в пределах $0,00762 \leq K \leq 0,01780$

(что соответствует реальному модулю упругости $100 \leq u \leq 3000 \text{ кг/см}^2$).
Целевая функция в заданном интервале изменения K имеет минимум, так как каждый член этой функции имеет минимум в этом интервале значений K

Отдельно рассмотренные критерии наименьшие напряжения на основной площадке земляного полотна (σ_n) и наименьшее сопротивление движению колеса по рельсу (W_n), зависящей от пути, в состав целевой функции не были включены. Первый отличается громоздкостью математических вычислений, второй — отсутствием экстремума .

Однако, несмотря на указанное обстоятельство, целевая функция достаточно точно отражает влияние рассмотренных нами критериев на значение оптимального модуля упругости, так как детальное исследование функций W_n и σ_n показали, что наименьшее сопротивление движению поезда оказывает путь, модуль упругости которого стремится к бесконечности, а наименьшие напряжения на основной площадке земляного полотна имеют место при незначительной величине модуля упругости — до 10 кг/см^2 . В этой связи можно считать, что оба эти критерии оказывают диаметрально противоположное влияние на значения u_{opt} и отсутствие их в целевой функции не вызывает значительных изменений в установлении оптимального модуля упругости подрельсового основания.

Для определения численных значений оптимального модуля упругости нами разработан алгоритм на входном языке ЭВМ „Наири“.

В результате решения целевой функции на ЭВМ „Наири“ нами получены оптимальные значения модуля упругости в зависимости от средних значений уклонов геометрических неровностей пути (см. табл. I) .

Таблица I

i_{geom} о/оо	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5
U_{onm} кг/см ²	1900-2200	800-1100	500-600	300-400	200-300	до 200

Указанные пределы U_{onm} учитывают влияние типа подвижного состава и скорость движения поездов .

В частности были рассмотрены такие типы подвижного состава : тепловозы серий (ТЭП10, ТЭ7, ТЭ10Д, ТЭ3) , электровозы серий (ВЛ60, ВЛ23, ВЛ10, ЧС4, ЧС2, Ф^П) , вагоны (четырехосные грузовые полувагоны с тележками ЦНИИ-УЗ-0 и МТ-50, шестiosные с тележками КВЗ-1^М и УВЗ-9^М на подшипниках скольжения и качения). U_{onm} рассматривался в диапазоне скоростей 80-120-160 км/ч

Как видно из табл. I на значение U_{onm} существенное влияние оказывает величина i_{geom} . Для $i_{geom} = 0,9$ о/оо оптимальный модуль упругости имеет целесообразное значение в пределах 300-400 кг/см²

Зная величину оптимального модуля упругости подрельсового основания, можно определить оптимальную жесткость опоры

$J_0^{onm} = U_{onm} \ell$, где ℓ - расстояние между осями смежных опор.

В нашем случае при $U_{onm} = 300-400$ кг/см² J_0^{onm} находится в диапазоне $16,5 \cdot 10^8 - 21,8 \cdot 10^8$ кг/ом

В формировании жесткости одиночной опоры (J_0^{onm}) участвуют жесткость укла скрепления (J_1) и жесткость шпал, балдастного слоя и земляного полотна (J_2) . Аналитически эта связь выражена общеизвестной зависимостью

$$\frac{1}{\mathcal{J}_0} = \frac{1}{\mathcal{J}_1} + \frac{1}{\mathcal{J}_2} \quad (9)$$

Наиболее часто встречающиеся значения \mathcal{J}_2 находятся в пределах $33 \cdot 10^3 - 49,4 \cdot 10^3$ с учетом неизбежных сезонных изменений модуля упругости подрельсового основания .

Подставляя в выражение (9) значения \mathcal{J}_0^{opt} и \mathcal{J}_2 получим оптимальное значение жесткости отдельного узла скрепления .

\mathcal{J}_1 находится в диапазоне $33 \cdot 10^3 - 40 \cdot 10^3$ кг/см .

Лабораторные опыты, проведенные в ЦНИИ МПС, а также экспериментальные исследования на действующем пути, проведенные ДИИТ"ом при участии автора, показывают, что жесткость узла опытных конструкций креплений типа БИ и ЖБР достаточно близка к расчетным оптимальным значениям .

Для проектирования скреплений очень важными параметрами являются оптимальная жесткость отдельных упругих элементов узла скрепления . К ним относятся оптимальная жесткость пружинных крепежителей (\mathcal{J}_k^{opt}) и оптимальная жесткость упругих прокладок (\mathcal{J}_n^{opt}). Между ними существует следующая связь

$$\mathcal{J}_1^{opt} = \mathcal{J}_k^{opt} + \mathcal{J}_n^{opt} \quad (10)$$

Как известно, при воздействии колесной нагрузки первоначальное натяжение клеммных болтов уменьшается.

Однако при правильно запроектированных скреплениях упругого силового "размыкания" системы не должно быть . Это требование является необходимым, но не достаточным . При наибольшем нагружении узла скрепления колесной нагрузкой для предотвращения угона пути натяжение клеммных болтов не должно быть меньше величины, устанавливаемой из условия исключения проскальзывания рельса по прокладке .

В этой связи в наиболее распространенных конструкциях окрепленней отношение $Ж_n$ к $Ж_k$ колеблется в пределах от 6 до 10 .

Для расчетов принимаем среднее значение

$$\frac{Ж_n}{Ж_k} = 8 \quad (II)$$

Решив совместно уравнения (I) и (II) , получим

$$Ж_k^{opt} = 3700 - 4500 \text{ кг/ом} \quad \text{и} \quad Ж_n^{opt} = 29300 - 35500 \text{ кг/ом.}$$

Эти данные можно считать оптимальной жесткостью соответственно пружинных прикрепителей ($Ж_k^{opt}$) и упругих прокладок ($Ж_n^{opt}$).

Глава четвертая содержит „ Экспериментальные исследования работы промежуточных окрепленней с жесткостью, близкой к оптимальной” .

С целью оценки работы опытных промежуточных скреплений типа БП и ЖБР, имеющих основные параметры, близкие к оптимальным, в эксплуатационных условиях ДИИТ"ом под руководством проф. М. А. Фришмана и при участии автора были проведены экспериментальные исследования и эксплуатационные наблюдения за работой этих скреплений в течение двух лет .

Для учета различных условий, измерения проводились на двух опытных участках, расположенных в прямой и кривой радиусом 500 м . Оба типа скреплений на каждом опытном участке укладывались в пределах одной плати бесстыкового пути по тем соображениям, чтобы состоянию пути, пропущенному тоннажу, грузонапряженности, типам подвижного состава, скорости движения поездов, погодным и климатическим факторам условия были бы одинаковыми .

Испытания производились под проходящими поездами. При этом скорости грузовых поездов были 70 км/час, пассажирских - 90 км/час .

Были выполнены измерения

1. Жесткости пути на опытных участках с железобетонными шпалами со скреплением типа БП и ЖБР, а также для сравнения КБ, К-2 .

2. Вертикальные силы, передаваемые от колес подвижного состава на рельс .

3. Вертикальные перемещения кромок подошвы рельса, реборд подкладки для подкладочных креплений типа БП, а также шпалы по обе стороны подкладки или подошвы рельса для бесподкладочных креплений .

4. Монтажные и динамические усилия в закладных болтах .

Измерения жесткости пути производились с помощью вагона-лаборатории по принципиально новой методике, разработанной в ДИИТе . Особенность этой методики состоит в следующем : сваежки вынесены на обочину земляного полотна; измерение просадок рельсов под нагрузкой осуществляется с помощью специальной жесткой рамы конструкции инж. В. И. Климова, записи перемещений рельса и действующих сил производится двухкоординатным самописцем, позволяющим получать кривые загрузки и разгрузки рельсов в виде петли гистерезиса .

Наблюдения за работой опытных креплений в условиях эксплуатации производилось на трех участках (крепление типа БП с пластинчатой и прутковой клеммой и крепление типа ЖБР).

В программу наблюдений входило : измерение ширины колеи и положения рельсов по уровню, осмотр всех элементов креплений, измерение степени натяжения закладных болтов, расход рабочей силы на текущее содержание .

Анализ экспериментальных измерений модуля упругости показал, что на участках с железобетонными шпалами получены весьма низкие

значения этого модуля. По сравнению с данными измерений прошлых лет, когда прогибомеры крепились на штырях непосредственно в шпальных ящиках вблизи рельсов, средние значения модуля оказались в два-три раза ниже^{х)}.

Для сопоставления численных величин модуля упругости подрельсового основания, полученных при различной методике измерений, проводились специальные эксперименты.

Отношение средних модулей упругости, найденных при измерениях по рамке и по штырям для пути с железобетонными шпалами в интервале нагрузок 4-8 т оставляет 0,3.

Полученные по усовершенствованной методике средние значения модуля упругости (U_{cp}) для пути с железобетонными шпалами и стандартными креплениями типа КБ и К-2, которые наиболее широко применяются в настоящее время в интервалах нагрузок 4-8 т и 0-16 т составляют 220-270 кг/см². На линейном участке графика $y=f(P)$ значения U_{cp} находятся в пределах 410-460 кг/см². При этом среднеквадратическое отклонение колеблется в диапазоне 30-90 кг/см².

Для крепления типа БП и ЖБР модуль упругости лежит в пределах 200-240 кг/см², среднеквадратическое отклонение при этом $S = 33-69$ кг/см². В интервале линейной зависимости $U_{cp} = 360-400$ кг/см².

Полученные при теоретических расчетах оптимальные значения модуля упругости подрельсового основания оказались весьма близкими к тем, которые были измерены при креплениях типа БП и ЖБР.

Одновременное измерение перемещений подошвы рельса, раборд

х) Вопрос этот должен быть рассмотрен комиссией ВТС МПС и одобрен 29 октября 1974 г.

подкладок и поверхности шпалы позволяет оценить не только общую просадку элементов пути, но и степень участия каждого упругого элемента в формировании прогиба пути, а также определить жесткости элементов узла скрепления.

При скреплениях типа БП нами производились два цикла измерений. В первом цикле толщина верхней и нижней прокладок была одинаковой (по 8 мм). Во втором цикле измерений подрельсовая прокладка была заменена утолщенной прокладкой (II мм).

В результате измерений были получены значения жесткости одиночного узла скрепления и его отдельных элементов (см. табл.2).

Таблица 2

Т и п скрепления	Цикл измерений	Среднее сжатие, мм			Жесткость, т/мм		
		узла скрепления	подрельсовой прокладки	подподкладочной	узла скрепления	подрельсовой прокладки	подподкладочной
ЖБР	I	0,95	-	0,95	3,3	-	3,3
БП-65 с прутковой клеммой	I	0,62	0,22	0,40	5,2	14,7	8,7
	II	1,12	0,68	0,44	2,6	4,5	6,9
БП-65 с пластинчатой клеммой	I	1,65	0,8	0,85	1,7	3,5	3,3
	II	2,14	1,43	0,71	1,3	1,9	3,9

Для оценки опытных скреплений необходимо сравнить экспериментальные значения жесткости скреплений в целом и его отдельных элементов с полученными в лабораторных опытах ЦНИИ МПС и вычисленными оптимальным путем минимизации целевой функции .

Жесткость скрепления ЖБР хорошо согласуется с оптимальной; в лабораторных условиях ЦНИИ МПС она составила 5 т/мм

Жесткость скрепления БП с пластинчатой клеммой оказалась меньше, а с прутковыми клеммами немного больше оптимальной.

С учетом разброса экспериментальных значений жесткостей всех трех видов прокладок можно отметить, что их жесткости одного порядка с теми, что получены в лабораторных условиях в ЦНИИ МПС.

При указанных характеристиках модуль упругости подрельсоового основания находится в пределах 200-370 кг/см². Такое же или несколько большее значение модуля упругости получено и при измерениях в статике с помощью специального нагрузочного устройства, что свидетельствует с правильности методики измерения модуля упругости.

Нами были вычислены также для опытных скреплений величины жесткостей пружинных прикраспителей ($Ж_{\kappa}$) и упругих прокладок ($Ж_{\eta}$). Для скрепления типа БП с пластинчатой клеммой они оказались $Ж_{\kappa} = 0,19$ т/мм, $Ж_{\eta} = 1,50$ т/мм, с прутковой клеммой - $Ж_{\kappa} = 0,58$ т/мм, $Ж_{\eta} = 4,62$ т/мм, для скрепления типа ЖБР $Ж_{\kappa} = 0,37$ т/мм, $Ж_{\eta} = 2,93$ т/мм. Сравнивая значения жесткостей элементов опытных скреплений типа БП и ЖБР с вычисленными оптимальными, следует отметить, что параметры пружинных прикраспителей скрепления типа ЖБР весьма близки к оптимальным. Жесткость прутковым клемм при скреплениях типа БП в 1,4 раза выше, а пластинчатых в 2,1 раза ниже оптимальных значений и нуждается в корректировке.

Эти расчеты дают возможность объяснить некоторые недостатки скреплений типа БП, выявленные в процессе эксплуатации. В частности, сравнительно быстрое раскручивание гаек, закладных болтов в

случае применения прутковых клемм, связано с избыточной жесткостью этих клемм. Для варианта с пластинчатыми клеммами наблюдается значительный (500-600 шт/км в год) излом клемм, ввиду больших деформаций, проходящих под поездной нагрузкой из-за малой жесткости клемм.

Нами производились также исследования работы крепежителей. Определялись монтажные усилия в закладных болтах, а затем динамические разгрузки под действием колесной нагрузки, велись эксплуатационные измерения величины затяжки гаек закладных болтов. На основе этих материалов предложены сроки сплошной затяжки гаек закладных болтов (см. табл.3)

Таблица 3

Т и п скрепления	Грузонапряжён- ность млн ткм/км брутто в год	Рекомендуемые сроки сплошной затяжки гаек закладных болтов
БП с пластинчатой клеммой	75	18 мес.
БП с прутковой клеммой	75	12 мес.
ЖБР	75	18 мес.

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили дать оценку опытным скреплениям типа БП и ЖБР и разработать рекомендации по совершенствованию их конструкции.

Общие выводы и предложения

1. В итоге теоретических исследований установлены рациональные значения модуля упругости подрельсового основания по следующим важнейшим критериям : обеспечения наименьшего воздействия подвижного состава на путь, наименьших изгибных напряжений в рельсах, наименьших напряжений в шпалах, балласте и основной площадке земляного полотна, наименьших контактных напряжений в рельсах, наименьшего сопротивления движению поездов .
2. Для установления оптимального значения модуля упругости получена целевая функция , которая объединяет вышеуказанные критерии
3. Разработанный алгоритм многовариантных расчетов позволяет с помощью ЭВМ найти оптимальное значение модуля упругости в зависимости от средних значений уклонов геометрических неровностей пути ($\bar{l}_{гeom}$). Его значения находятся в пределах 300-400 кг/см² (при $\bar{l}_{гeom} = 0,9 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$). Величина $\bar{l}_{гeom} = 0,9 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ принята на основании исследований МИИТ"а, ЦПИИ, ДИИТ"а
4. В результате экспериментальных исследований установлено, что модуль упругости подрельсового основания по усовершенствованной методике, разработанной в ДИИТ"е, для пути с железобетонными шпалами и скреплениями, имеющими упругие элементы, находятся в пределах 220-400 кг/см²
5. На основе оптимальных расчетных параметров и экспериментальных исследований указанных скреплений под подвижной нагрузкой дана оценка работы опытных скреплений типа БП и ХБР .

6. На основе проведенных исследований в диссертации разработаны конкретные предложения по основным параметрам крепления, совершенствованию конструкций опытных креплений типа БН и ЖБР

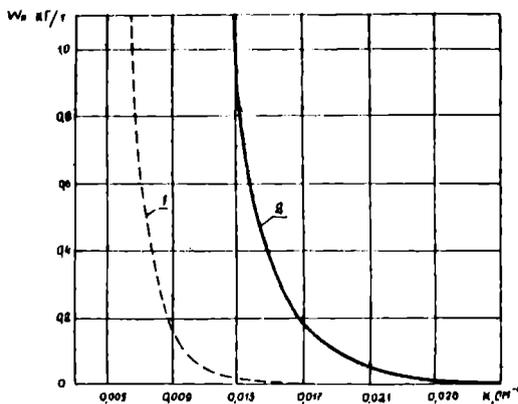
Выводы по диссертации, изложенные в п. 3,4 одобрены комиссией НТС МПС от 29 октября 1974 года.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах :

1. Воробейчик Л.Я., Радычук В.А. Исследование работы прикрепителей на участке с опытными креплениями типа БН-65 и ЖБР-65. В кн. Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Днепропетровск, 1974, с.90-96. (Труды Днепропетр. ин-та инж. ж.-д. транспорта. Вып. 148) .
2. Радычук В.А. Теоретическое исследование оптимальной упругости подрельсового основания и узла крепления в вертикальной плоскости при железобетонных шпалах. В кн.: Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Днепропетровск, 1974, с.98-108 (Труды Днепропетр. ин-та инж. ж.-д. транспорта. Вып. 151) .
3. Фришман М.А., Воробейчик Л.Я., Орловский А.Н., Радычук В.А. Экспериментальное исследование работы пути с новыми промежуточными креплениями. В кн.: Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Днепропетровск, 1974, с. 3-13 (Труды Днепропетр. ин-та инж. ж.-д. транспорта. Вып. 151) .
4. Фришман М.А., Воробейчик Л.Я., Радычук В.А. Как служат опытные крепления. "Путь и путевое хозяйство", 1975, № 3, с.14-16

Результаты работы были доложены

1. На XXXVI научно-технической конференции кафедр института в Харьковском институте инженеров железнодорожного транспорта им. С.М.Кирова, Харьков, 25 ноября 1974 г.
2. На расширенном заседании научно-технического семинара инженерно-технических работников службы пути Юго-Западной железной дороги, Киев. октябрь 1973 г.
3. На расширенном заседании научно-технического семинара инженерно-технических работников службы пути Одесско-Кишиневской железной дороги, Одесса, апрель 1974 г.
4. На заседании кафедры „Путь и путевое хозяйство“ Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта имени М.И.Калинина . Днепропетровок, 22 октября 1974 г., 17 сентября 1975 г.
5. На заседании комиссии путевого хозяйства и комплексной механизации путевых работ НТС МПС 29 октября 1974 г.



Графики изменения составляющей сопротивления движению колеса по рельсу, зависящей от пути, в функции коэффициента относительной жесткости рельса и подрельсового основания для ТЭП00, Р65 1-20 км/ч, 2-80 км/ч.

Зак. 670. БФ 31585. 30.09.1975 г. Объем 1,5 п.л.
Тираж 150.

Ротапринт ЦБТИ Миндorstроя УССР.