

М. И. УМАНОВ, В. В. КОВАЛЕВ, С. Н. СОВА (ДИИТ)

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПУТИ СО СКРЕПЛЕНИЕМ КПП

Проведена оцінка напружено-деформованого стану колії зі скріпленнями КПП під впливом дослідного рухомого складу, а також жорсткостних характеристик такої колії. Зіставлення цих показників з аналогічними для колії зі скріпленнями КБ показали досить близьку відповідність.

Проведена оцінка напружено-деформованого стану шляху зі скріпленнями КПП під впливом дослідного рухомого складу, а також жорсткостних характеристик цього шляху. Сопоставление этих показателей с аналогичными для пути со скреплением КБ показали достаточно близкое сходство.

The stresser-deformed estimation with the fastenings КПП. The comparison of these parameters with the analogous ones for a track with fastenings КБ have shown close enough conformity.

В ноябре–декабре 2001 года на двух участках Львовской железной дороги Днепропетровским национальным университетом железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДИИТ) проводились экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния бесстыкового пути с рельсами типа Р65 на железобетонных шпалах со скреплением КПП на щебеночном балласте.

На данном направлении пропущенный тоннаж составил 30 млн т, грузонапряженность – 3 млн ткм брутто на км в год, а установленная скорость движения поездов – 80 км/ч. Несмотря на то, что состояние пути на опытных участках в основном соответствовало требованиям [1] скорость движения пассажирских поездов была ограничена из-за того, что толщина балластной призмы на данном перегоне была ниже установленных норм и в ряде случаев составляла около 10 см.

Для проведения испытаний был сформирован опытный состав из тепловозов 2М62 (в голове и хвосте поезда), электровоза ВЛ11 и двух полувагонов, одного порожнего и одного загруженного щебнем до полной грузоподъемности. Опытный состав осуществлял поездки челноком со скоростями 25, 40, 60, 80 и 100 км/ч.

В процессе выполнения экспериментальных исследований, которые проводились на прямой и в кривой $R = 600$ м измерялись:

- вертикальная и горизонтальная жесткость пути;
- напряжения в кромках подошвы и головки рельсов;
- горизонтальные отжатия головки и подошвы рельсов;

- вертикальные прогибы рельсов;
- вертикальные и боковые силы, действующие на рельс.

Расположение датчиков на опытных участках показано на рис. 1.

Жесткость подрельсового основания пути измерялась с помощью специального вагона-лаборатории ДИИТа по методике [2]. При измерениях вертикальной жесткости вертикальная сила на один рельс доводилась до 140...150 кН. При измерениях горизонтальной жесткости рельсовых нитей горизонтальная сила на рельс в опытах доводилась до 140 кН при одновременном вертикальном пригрузе рельса 110 кН.

Результаты измерений показали, что вертикальная жесткость и модуль упругости пути очень неравномерны по длине участка, особенно на прямой (рис. 2).

Как видно из рисунка имеет место два вида петель гистерезиса:

- один вид для нормального состояния пути – петля 1, модуль упругости для которой 44,3 МПа (расшифровке подвергалась линия загруза в интервале 40...80 кН);

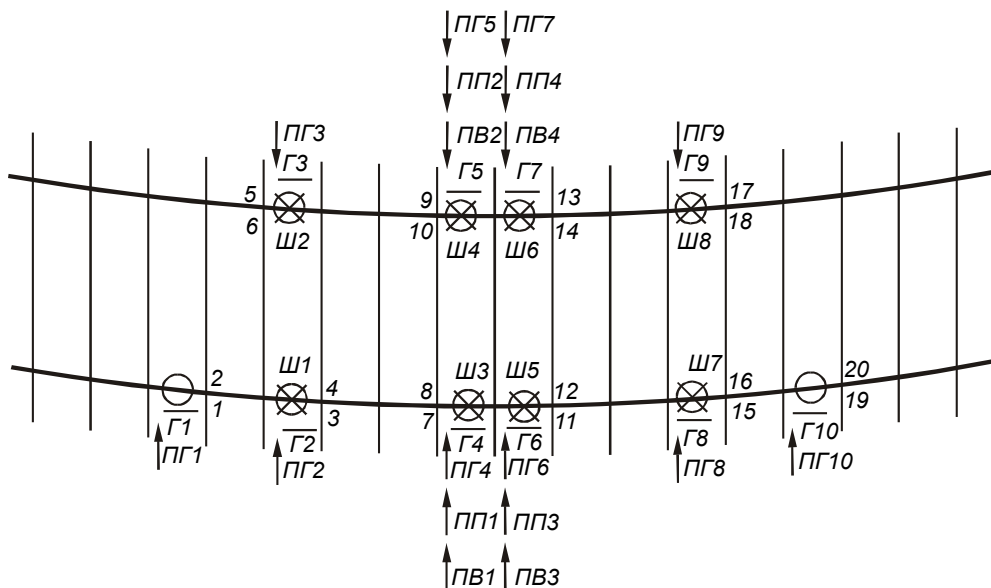
– второй вид в месте, где наблюдается динамическая просадка пути, петля 2 модуль упругости равен 4,3 МПа (расшифровке подвергалась линия загруза в интервале 0...130 кН). В данном случае происходит выборка люфтов, связанных с наличием провисших шпал. Также на величину заниженного модуля влияет недостаточная толщина щебня под шпалой.

Вертикальный модуль упругости на прямой в местах, с динамической просадкой пути находился в пределах от 4,3 МПа до 7,9 МПа.

Если исключить из рассмотрения сечения с большими провесами шпал, что не соответствует нормальному состоянию пути, то можно

считать, что вертикальный модуль упругости в прямой изменялся от 10,4 МПа до 59,7 МПа.

а)



б)

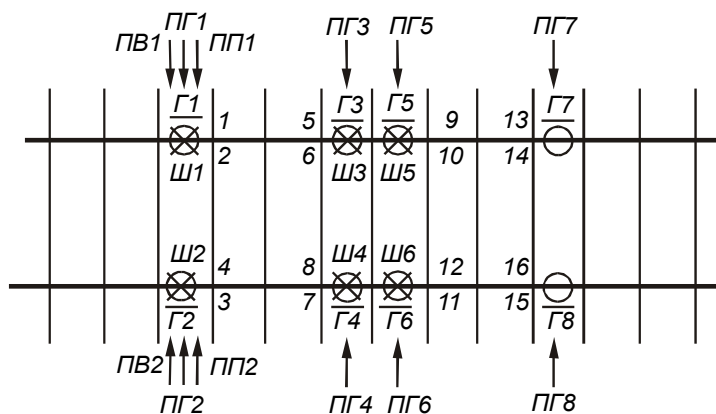


Рис. 1. Схемы установки датчиков на кривой R=600 м (а) и на прямом участке (б):

- Ш X – прибор для измерения вертикальных сил;
- $\frac{\Delta}{\text{Г}}$ – прибор для измерения напряжений в кромке подошвы рельса;
- Г — – прибор для измерения напряжений в кромке головки рельса;
- ПГ ↑ – горизонтальный прогибомер по головке рельса;
- ПВ ↑ – вертикальный прогибомер;
- ПП ↑ – горизонтальный прогибомер по подошве рельса

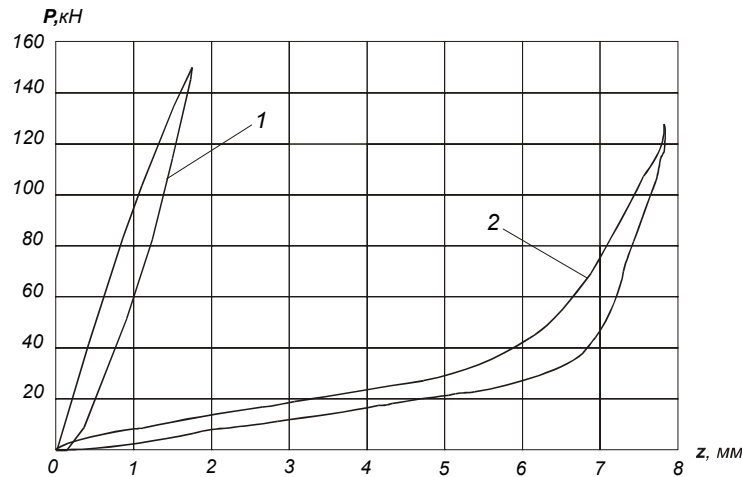


Рис. 2. Образец петли гистерезиса при измерении вертикальной жесткости пути на прямой

В кривой вертикальная жесткость и модуль упругости были больше чем в прямой из-за большей, по сравнению с прямой, эпюрой шпал (2000 шт/км). Вертикальный модуль упругости изменялся от 12,0 МПа до 73,6 МПа.

Средние значения вертикального модуля упругости 28,4 МПа на прямой и 29,6 МПа на кривой.

Горизонтальный модуль упругости пути в прямом участке изменялся в пределах от 7,0 МПа до 20,0 МПа, (среднее значение 10,9 МПа), а на кривой – от 10,7 МПа до 26,3 МПа (среднее значение 19,7 МПа).

Как показали исследования ДИИТа, проводившиеся на Юго-Западной железной дороге [2], значения вертикального модуля упругости на участках со скреплением КБ находились в пределах 8,0...50,0 МПа, среднее значение модуля упругости на исследуемых участках оказалось равным 26,0...27,2 МПа в интервале нагрузок 40...80 кН.

Исследования ДИИТа показали также, что горизонтальный модуль упругости пути на ж. б. шпалах со скреплением КБ в прямой изменяется в пределах от 3,2 МПа до 9,4 МПа (среднее значение 6,1 МПа).

Проверим гипотезу о равенстве средних значений вертикального модуля упругости пути со скреплениями КБ и КПП, а также гипотезу о равенстве средних значений горизонтального модуля упругости пути. Зафиксировав уровень значимости $\alpha = 0,01$ проверим гипотезу о равенстве средних значений вертикального модуля по формуле (t -распределение Стьюдента) [3]:

$$t = \frac{\bar{U}_1 - \bar{U}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_2 - 1) \cdot S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}, \quad (1)$$

где t – распределение Стьюдента;

\bar{U}_1 – среднее значение модуля упругости пути со скреплением КПП;

\bar{U}_2 – среднее значение модуля упругости пути со скреплением КБ;

n_1, n_2 – объемы соответствующих выборок;

S_1^2, S_2^2 – соответствующие распределения дисперсий.

Для вертикального модуля при альтернативной гипотезе $\bar{U}_1 > \bar{U}_2$ получаем правостороннюю критическую область:

$$P(t > t_\alpha) = 0,01; t_\alpha = 2,33, t > 2,33;$$

при $\bar{U}_1 = 28,4$ МПа; $\bar{U}_2 = 27,2$ МПа; $n_1 = 10$; $n_2 = 208$; $S_1^2 = 2,68$ МПа²; $S_2^2 = 65,6$ МПа².

В этом случае $t = 0,33$, что меньше $t_\alpha = 2,33$, а значит t не принадлежит критической области, поэтому принимаем гипотезу о равенстве средних значений вертикального модуля упругости.

Для горизонтального модуля также принимаем правостороннюю критическую область:

$$P(t > t_\alpha) = 0,01; t_\alpha = 2,39, t > 2,39;$$

при $\bar{U}_1 = 19,7$ МПа; $\bar{U}_2 = 10,7$ МПа; $n_1 = 17$; $n_2 = 50$; $S_1^2 = 0,81$ МПа²; $S_2^2 = 0,86$ МПа².

В этом случае значение статистики $t = 32,1$, что больше $t_\alpha = 2,39$, т. е. принадлежит критической области, поэтому гипотеза о равенстве средних значений неверна.

Таким образом вертикальная жесткость пути на ж. б. шпалах со скреплением КПП практически не отличается от жесткости пути на ж. б. шпалах со скреплением КБ. Однако, горизонтальная поперечная жесткость пути на же-

лезобетонных шпалах со скреплением КПП в 1,5–2,0 раза больше, чем при скреплении КБ.

По показаниям каждого датчика при заданной скорости и направлении движения составлялась первичная выборка (выборочная совокупность), которая считалась случайным извлечением из генеральной совокупности. На основании этого осуществлялась статистическая обработка опытных данных.

Для каждой выборки определялись по стандартной методике основные статистики, а именно: среднее, среднеквадратическое отклонение и максимальное вероятное значение при принятом в расчетах пути на прочность уровне не превышения вероятности 0,994. Эти выборки группировались:

- в прямом участке пути для каждого экипажа для каждой скорости движения;

- в кривом участке пути отдельно для первых и вторых (в трехосных тележках – третьи) осей каждого экипажа для каждой скорости движения по наружной и внутренней нитям.

В кривом участке пути с увеличением скорости движения опытного подвижного состава средние значения вертикальных сил увеличивались по наружной нити и уменьшались по внутренней. Под груженым вагоном были получены наибольшие значения вертикальных сил: максимальные вероятные – 175,9 кН, максимальные наблюдавшиеся – 187,3 кН и средние 123,4 кН. На прямом участке пути были зафиксированы следующие значения вертикальных сил для груженого вагона: средние – 110,1 МПа, максимальные вероятные – 171,5 кН, максимальные наблюдавшиеся – 183,8 кН. Вертикальные силы, передающиеся на путь под груженым вагоном, так же как и под остальным подвижным составом на прямой и в кривой были фактически одинаковыми.

Однако вертикальные прогибы рельсов под подвижным составом на прямой были в 2–2,5 раза больше чем на кривой и составляли 2,0–3,5 мм, а максимальные вероятные 4,1 мм. В кривой вертикальные прогибы не превышали 1,5 мм. Это явление связано с большей жесткостью подрельсового основания в кривой, а также с наличием на прямой шпал с провесами.

Полученные результаты вертикальных прогибов соответствуют величине вертикальных прогибов рельсов Р65 на железобетонных шпалах со скреплением КБ под таким же подвижным составом. Как показали исследования ДИИТа [4] вертикальные прогибы рельсов достигали в среднем 3,0–3,3 мм, а максимальные вероятные до 4,7 мм.

Максимальные значения боковых сил в кривом участке пути наблюдались под локомотивом 2М62, и не превысили по средним значениям – 32 кН, по максимальным вероятным – 61 кН, а по максимальным наблюдавшимся – 73 кН, а в прямом участке пути – под порожним полувагоном (максимальным наблюдавшимся – 23,3 кН)

Максимальные отжатия головки рельсов наблюдались под порожним вагоном на прямом участке пути. При скорости движения 60 км/ч значения отжатий головки рельсов составили 1,9 мм, а при скорости движения 80 км/ч они увеличились уже почти в 2 раза (3,4 мм). Это происходит из-за неустойчивости порожнего вагона при скоростях движения больших 65 км/ч. У остальных единиц подвижного состава средние значения отжатий головки рельсов не превысили 0,5 мм. В кривом участке пути максимальные наблюдавшиеся значения отжатий головки рельсов наружной нити для локомотивов не превышали 1,4 мм при скорости 100 км/ч, а для рельсов внутренней нити – 1,6 мм при скорости 40 км/ч для груженого вагона.

Большой разброс значений напряжений в кромке подошвы рельсов наблюдался на прямом участке пути. В одной группе датчиков (1–8) значения напряжений в кромке подошвы рельсов не превышали по средним значениям – 15 МПа, по максимальным вероятным – 61 МПа, по максимальным наблюдавшимся – 68 МПа. В другой группе датчиков (13–16) средние значения напряжений достигали – 112 МПа, максимальные вероятные и максимальные наблюдавшиеся – 149 МПа. Такой большой разброс значений напряжений в кромке подошвы рельсов наблюдался из-за плохой подбивки балласта под шпалами и наличия шпал с провесами.

В кривом участке пути максимальные значения напряжений в кромке подошвы рельсов наблюдались в наружной кромке подошвы рельсов наружной рельсовой нити при скорости движения опытного подвижного состава 80 км/ч и составили под колесами груженого полувагона 125 МПа. Средняя величина изменялась в пределах 30...40 МПа, что соответствует величине напряжений в рельсах Р65 на железобетонных шпалах со скреплением КБ под тем же подвижным составом. Как показали предыдущие исследования ДИИТа, средняя величина напряжений в наружной кромке наружной рельсовой нити под груженым полувагоном находилась в пределах 28...78 МПа.

Как видно, из выше сказанного, кромочные напряжения в подошве рельсов, как в прямом, так и в кривом участках пути со скреплениями КПП не превысили допустимые значения 240 МПа.

Всесторонний анализ результатов проведенных настоящих исследований, а также результатов ранее выполненных исследований позволяют сделать следующие выводы:

– вертикальный модуль упругости пути на железобетонных шпалах со скреплением КПП соответствует жесткостным характеристикам пути на железобетонных шпалах со скреплением КБ;

– кромочные напряжения в рельсах Р65 и их вертикальные прогибы на пути с железобетонными шпалами и скреплением КПП под воздействием груженого полувагона оказываются примерно такими же, как и на пути с железобетонными шпалами и скреплением КБ;

– горизонтальные отжатия головки рельсов под опытными экипажами, за исключением порожнего полувагона, не превышали 1,5 мм. Этому способствовала сравнительно большая поперечная жесткость пути на ж. б. шпалах со

скреплением КПП превышающая в 1,5–2,0 раза поперечную жесткость на пути со скреплением КБ;

– таким образом, по прочности пути условия обращения подвижного состава на пути с железобетонными шпалами и скреплением КПП могут быть приняты такими же, как и для пути с железобетонными шпалами и скреплением КБ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Інструкція по устрою та утриманню колії залізниць України. Затверджено наказом Укрзалізниця від 06.04.1998 р. № 82Ц.

2. Воробейчик Л. Я., Гнатенко В. П., Климов В. И., Леванков И. С. Некоторые результаты экспериментального определения жесткости пути. В кн.: Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. – Вып. 148. – Д., ДИИТ, 1974, с. 9–16.

3. Колде Я. К. Практикум по теории вероятностей и математической статистике. М. – 1991.

4. Волошко Ю. Д., Татуревич А. П., Янин В. М. Особенности вертикального воздействия на путь грузовых поездов при скоростях движения 90–100 км/ч. В кн.: Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Вып. 188. – Д., ДИИТ, 1977, с. 18–22.