

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ ЖЕСТКОСТИ ПУТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

У роботі викладені результати визначення фактичних жорсткостей і модулів пружності колії для дослідження взаємодії колії і рухомого складу з врахуванням конструкцій верхньої будови колії, що змінилися за останні роки, особливо на залізобетонних шпалах. Уточнено значення модулів пружності підрейкових основ при горизонтальному вигині і крутінні рейкових ниток.

В работе изложены результаты определения фактических жесткостей и модулей упругости пути для исследования взаимодействия пути и подвижного состава с учетом конструкций верхнего строения пути, которые изменились за последние годы, в особенности на железобетонных шпалах. Уточнены значения модулей упругости подрельсовых оснований при горизонтальном изгибе и кручении рельсовых нитей.

The results of determining the rigidity and the modulus of elasticity of the track are shown in the paper. They are used for research of track and a rolling stock interaction and they are taking into account the constructions of the permanent way which has been changed for last years especially on concrete cross-ties. The values of the elasticity modules under the rail are specified under the horizontal bend and rail twist.

При решении ряда теоретических и практических задач актуальных проблем железнодорожного транспорта, особенно при разработке мероприятий по техническому обеспечению безопасности движения поездов, широко используются теоретические исследования в области взаимодействия пути и подвижного состава, позволяющие существенно сократить время и затраты на проведение весьма трудоемких и дорогостоящих экспериментов и испытаний в натуральных условиях новых подвижного состава, конструкции пути, стрелочных переводов. Указанная проблема особенно актуальна в условиях отсутствия на железных дорогах Украины экспериментальной базы, опытных полигонов (в том числе для скоростного движения) и специализированного научно-исследовательского института наподобие ВНИИЖТа МПС РФ.

Общеизвестно, что любые теоретические исследования в области динамики подвижного состава и его воздействия на путь, расчеты пути на прочность и устойчивость и др. базируются, прежде всего, на основании использования основополагающих главнейших нормативов и параметров пути, стрелочных переводов и экипажной части подвижного состава, которые, в конечном итоге, определяются расчетным путем на основании обширных целенаправленных экспериментальных исследований в натуральных условиях.

Применительно к железнодорожному пути, как таковому, одними из важнейших параметров являются пространственные характеристики жесткости (упругости) рельсовых нитей и

соответствующие им пространственные модули упругости пути в вертикальном, поперечном к оси пути, горизонтальном направлении и при кручении рельсовых нитей.

Исследования параметров жесткости и модулей упругости пути проводились научно-исследовательскими организациями и вузами железнодорожного транспорта на протяжении ряда лет в рамках обширной программы. По результатам этих исследований были определены эмпирические зависимости параметров жесткости и модулей упругости пути для различных типов конструкций верхнего строения, которые приведены в специальной справочной литературе и нормативных документах, и используются в настоящее время всеми исследователями проблем взаимодействия пути и подвижного состава, а также в расчетах пути на прочность и устойчивость, расследованиях причин крушений, аварий и браков в поездной и маневровой работе.

Однако следует, к большому сожалению, что намеченная в свое время на многие годы обширная программа столь важных исследований не была завершена в полном объеме по целому ряду чисто объективных причин. Среди этих причин основными явились разнотипность конструкций вагонов-лабораторий, нагрузочных устройств и измерительной базы, сложности организационного порядка, постоянная ограниченность финансовых ресурсов и др., что в конечном итоге привело к тупиковому варианту оценки полученных (на протяжении ряда лет) результатов экспериментальных исследований, отличающихся во многих случаях несо-

поставимостью данных экспериментов. Многие запланированные натурные исследования не были выполнены. Сказанное в первую очередь относится к современным конструкциям пути и особенностях их эксплуатации, особенно в зимний период, до и после проведения ремонтных работ, на участках с большим земельным полотном и т. д.

За последние годы существенно изменились конструкции верхнего строения пути, разрешена укладка железобетонных шпал вместо деревянных при кустовой гнилости последних, изменились виды и технология ремонтных путевых работ, повсеместно производится укладка железобетонных шпал и стрелочных брусьев, повысилась толщина балласта под шпалой и плечи балластной призмы и т. д. и т. п.

В настоящей работе в первом приближении приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований кафедры «Путь и путевое хозяйство» и отраслевой путевыпытательной лаборатории ДИИТа (за период с 1955 г.) по корректировке и уточнению характеристик пространственной жесткости рельсовых нитей и соответствующих им модулей упругости пути в современных условиях эксплуатации железных дорог Украины.

В расчетных схемах и моделях системы «экипаж–путь» обычно используются механические параметры железнодорожного пути как единой конструкции, взаимодействующим с подвижным составом при перемещениях и деформациях, отнесенных к головке одной рельсовой нити. Среди этих параметров основными и основополагающими являются характеристики жесткости (упругости) рельсовых нитей и соответствующие им модули упругости рельсового основания.

Для различных конструкций и типов верхнего строения пути указанные механические параметры по их значениям существенно отличаются друг от друга с достаточно большими разбросами, т. е. они являются статистическими величинами. К тому же следует иметь в виду, что изменчивость значений указанных параметров имеет место при измерениях их в различных сечениях пути как в поперечном, так и в продольном направлениях, а также при измерениях одного и того же параметра в разное время (особенно по периодам года). С этой точки зрения для каждого типа и конструкции пути, а также осевой нагрузки подвижного состава, весьма важно знать диапазоны изменения значений тех или иных механических параметров, в частности их вероятные значения

или, что еще важнее, распределение вероятностей, влияющие факторы и корреляционные связи между ними.

Физически модули упругости рельсового основания (пути) представляют собою реакцию основания на единицу длины при деформации основания, равной единицы.

При этом модули упругости (U) рельсового основания необходимо различать в зависимости от направления деформаций, а именно:

U_y – в вертикальном направлении;

U_z – в поперечном к оси пути горизонтальном направлении;

U_x – в продольном горизонтальном направлении;

U_ϕ – при кручении рельсовых нитей;

Все указанные модули упругости рельсового основания определяются на основании натурных измерений деформаций в зависимости от прилагаемой нагрузки на рельс с помощью так называемого «модульного вагона-лаборатории».

Вертикальные и поперечные горизонтальные силы, вызывающие просадки, отжатия и кручения рельсовых нитей создаются с помощью гидравлического нагрузочного устройства, смонтированного на раме вагона-лаборатории. Максимальная нагрузка доводится до 120–160 кН, а поперечная горизонтальная (боковая) – до 80–120 кН.

Просадки, отжатия и кручения рельсовых нитей регистрируются с помощью электропробометров. Запись графиков зависимости перемещений рельсов от нагрузки в виде петель гистерезисов осуществляется двухкоординатными самопишущими приборами типа ПДС-021.

Указанные петли гистерезисов состоят, как известно из ветвей нагружения и разгрузки, имеющих две характерные зоны.

Первая зона графиков, например вертикальных перемещений, находится в интервале нагрузок 0–60 кН. В этой зоне вертикальные перемещения рельсов формируются за счет выбора зазоров между элементами верхнего строения пути и первоначального отжатия подрельсовых и нашпальных прокладок.

Вторая зона находится в интервале нагрузок 60–120 кН и формируется непосредственно за счет жесткости подрельсового основания при выбранных зазорах между элементами верхнего строения пути.

В обеих зонах графики перемещений могут быть аппроксимированы прямыми линиями.

Жесткость пути обычно определяется по ветвям нагружения в интервале нагрузок 60–105 кН. Значения максимальной вертикальной нагрузки 105 кН выбирается примерно равным среднесетевой статической нагрузке от колес на рельсы. Для конкретного подвижного состава с высокими значениями статической нагрузки от колеса на рельс модули упругости рельсового основания следует определять при нагрузках на рельс до 160 кН.

Жесткости рельсовых нитей при горизонтальном изгибе и кручении рельса, а также при продольных перемещениях определяются по такой же схеме, как и при вертикальном изгибе рельса.

Сами модули упругости рельсового основания рассчитываются при определенных указанными способами параметрах жесткостях рельсовых нитей с использованием известных зависимостей [1–5]:

$$U_y = \frac{1}{\sqrt[3]{64EI_z}} \cdot \beta_y^{4/3}; \quad (1)$$

$$U_z^{(T)} = \frac{1}{\sqrt[3]{64EI_y}} \cdot (\lambda \cdot \beta_z^{(n)})^{4/3}; \quad (2)$$

$$\text{для рельсов типа Р50 } U_\phi = \frac{1}{5,3 \cdot C} \cdot \beta_\phi^2; \quad (3)$$

$$\text{для рельсов типа Р65 } U_\phi = \frac{1}{5,1 \cdot C} \cdot \beta_\phi^2; \quad (4)$$

$$U_\phi = h^2 U_z^{(T)}, \quad (5)$$

где E – модуль упругости рельсовой стали; I_z – момент инерции поперечного сечения рельса относительно горизонтальной оси Z ; I_y – соответственно относительно вертикальной оси Y ; λ – безразмерный коэффициент, зависящий от типа рельсов (для рельсов Р50 $\lambda = 0,83$, а для Р65 $\lambda = 1,0$); β_y – вертикальная жесткость рельсовой нити; $\beta_z^{(n)}$ – горизонтальная жесткость рельсовой нити по подошве с учетом сил трения; β_ϕ – жесткость рельса при кручении; C – жесткость рельса при кручении.

Для определения модуля U_z (без учета сил трения), необходимо в опытах величину $\beta_z^{(n)}$ определять при отсутствии вертикальной нагрузки.

При всех теоретических исследованиях, расчетных схемах и моделях в каждом конкретном случае необходимо учитывать и ана-

лизировать следующие объективные обстоятельства, а именно:

- зависимости между деформациями рельсовой нити и нагрузками, приложенной к ней, всегда являются нелинейными;

- нелинейность указанных зависимостей обуславливается упругими свойствами отдельных элементов пути, способов соединения их между собой, наличием неизбежных зазоров и люфтов между рельсом и подкладкой, подкладкой и шпалой, шпалой и балластом и т. д.;

- при любых интервалах нагрузок на рельс жесткости пути являются всегда переменными величинами, в том числе и по длине пути;

- в эксплуатационных условиях боковая сила всегда действует одновременно с вертикальной силой;

- значения жесткостей β и модулей U в справочной литературе приведены без учета деформаций земляного полотна, особенно на пути с железобетонными шпалами, поэтому они во всех случаях являются завышенными.

Кафедрой «Путь и путевое хозяйство» и путевых испытательной лабораторией ДИИТа накоплен обширный опыт измерений пространственной жесткости (упругости) пути, в том числе и с учетом упругости земляного полотна. Основные результаты этих исследований опубликованы в сборниках научных трудов ДИИТа за последние 35 лет. Среди них следует отметить работы [6–9].

Основополагающие исследования жесткости пути и соответствующих им модулей упругости рельсового основания с учетом влияния деформаций земляного полотна в летних и зимних условиях эксплуатации пути за последние годы проведены ВНИИЖТом РФ [10].

В итоге анализа всех проведенных исследований можно рекомендовать в первом приближении следующие нормативы по жесткостям и модулям упругости рельсового основания для различных конструкций верхнего строения пути (см. табл. 1 и 2).

В зимнее время модуль упругости рельсового основания U_y практически мало зависит от эпюры шпал и типа балласта, поскольку балластная призма вместе с рельсошпальной решеткой промерзает и становится единым монолитным основанием, в таком ее состоянии модуль упругости в вертикальном направлении U_y практически для всех конструкций пути составляет 50–95 МПа в зависимости от типа рельсов.

Таблица 1

**Модули упругости подрельсового основания в вертикальном направлении при осевых нагрузках
22–25 кН и скоростях движения до 240 км/ч пассажирских и 90 км/ч грузовых поездов**

| № п/п | Характеристика конструкции пути | Значения модулей U_y (МПа) для летних условий | | |
|--|---------------------------------|---|--------------|-------------|
| | | средние | максимальные | минимальные |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| I. Щебеночный балласт, шпалы железобетонные и деревянные | | | | |
| 1 | P75 (6) 1840 (жб) щ | 75,0 | 100,0 | 68,0 |
| 2 | P75 (6) 2000 (жб) щ | 80,0 | 110,0 | 72,0 |
| 3 | P75 (6) 1840 (I А) щ | 21,0 | 35,5 | 7,5 |
| 4 | P75 (6) 1840 (I А) щ | 24,0 | 40,5 | 8,0 |
| 5 | P65 (6) 1440 (I А, I Б) щ | 16,0 | 26,0 | 6,5 |
| 6 | P65 (6) 1600 (I А, I Б) щ | 17,0 | 27,0 | 7,0 |
| 7 | P65 (6) 1840 (I А, I Б) щ | 19,0 | 31,0 | 7,5 |
| 8 | P65 (6) 2000 (I А, I Б) щ | 25,0 | 42,0 | 8,0 |
| 9 | P65 (6) 1440 (II А, II Б) щ | 16,0 | 25,0 | 6,0 |
| 10 | P65 (6) 1600 (II А, II Б) щ | 16,5 | 26,0 | 6,5 |
| 11 | P65 (6) 1840 (II А, II Б) щ | 18,0 | 30,0 | 7,0 |
| 12 | P65 (6) 2000 (II А, II Б) щ | 23,0 | 40,0 | 7,5 |
| 13 | P65 (6) 1440 (III А, III Б) щ | 15,0 | 24,0 | 5,5 |
| 14 | P65 (6) 1600 (III А, III Б) щ | 16,0 | 25,0 | 6,0 |
| 15 | P65 (6) 1840 (III А, III Б) щ | 17,0 | 28,0 | 6,5 |
| 16 | P65 (6) 2000 (III А, III Б) щ | 17,5 | 29,0 | 7,0 |
| 17 | P65 (6) 1440 (VI А, VI Б) щ | 14,5 | 23,0 | 5,5 |
| 18 | P65 (6) 1600 (VI А, VI Б) щ | 15,0 | 27,0 | 6,0 |
| 19 | P65 (6) 1840 (VI А, VI Б) щ | 15,5 | 27,5 | 6,5 |
| 20 | P65 (6) 2000 (VI А, VI Б) щ | 16,0 | 28,0 | 7,0 |
| 21 | P50 (6) 1440 (I А, I Б) щ | 14,0 | 17,0 | 6,0 |
| 22 | P50 (6) 1600 (I А, I Б) щ | 14,5 | 19,0 | 6,5 |
| 23 | P50 (6) 1840 (I А, I Б) щ | 15,0 | 20,0 | 7,0 |
| 24 | P50 (6) 2000 (I А, I Б) щ | 15,5 | 20,5 | 7,5 |
| 25 | P50 (6) 1440 (II А, II Б) щ | 13,5 | 16,5 | 5,5 |
| 26 | P50 (6) 1600 (II А, II Б) щ | 14,0 | 17,0 | 6,0 |
| 27 | P50 (6) 1840 (II А, II Б) щ | 14,5 | 17,5 | 6,5 |
| 28 | P50 (6) 2000 (II А, II Б) щ | 15,0 | 18,0 | 7,0 |
| 29 | P50 (6) 1440 (III А, III Б) щ | 13,0 | 16,0 | 5,0 |
| 30 | P50 (6) 1600 (III А, III Б) щ | 13,5 | 16,5 | 5,5 |
| 31 | P50 (6) 1840 (III А, III Б) щ | 14,0 | 17,0 | 6,0 |
| 32 | P50 (6) 2000 (III А, III Б) щ | 14,5 | 17,5 | 6,5 |
| 33 | P50 (6) 1440 (VI А, VI Б) щ | 12,5 | 15,5 | 5,0 |
| 34 | P50 (6) 2000 (VI А, VI Б) щ | 13,0 | 16,0 | 5,5 |
| 35 | P50 (6) 1840 (VI А, VI Б) щ | 13,5 | 16,5 | 6,0 |
| 36 | P50 (6) 1600 (VI А, VI Б) щ | 14,0 | 17,0 | 6,5 |
| 37 | P43 (6) 1440 (I А, I Б) щ | 12,5 | 18,0 | 5,0 |
| 38 | P43 (6) 1600 (I А, I Б) щ | 13,0 | 18,5 | 5,5 |
| 39 | P43 (6) 1840 (I А, I Б) щ | 13,5 | 19,0 | 6,0 |
| 40 | P43 (6) 2000 (I А, I Б) щ | 14,0 | 20,0 | 6,5 |
| 41 | P43 (6) 1440 (II А, II Б) щ | 12,0 | 16,0 | 5,0 |
| 42 | P43 (6) 1600 (II А, II Б) щ | 12,5 | 16,5 | 5,5 |
| 43 | P43 (6) 1840 (II А, II Б) щ | 13,0 | 17,0 | 6,0 |
| 44 | P43 (6) 2000 (II А, II Б) щ | 13,5 | 17,5 | 6,5 |
| 45 | P43 (6) 1440 (III А, III Б) щ | 12,0 | 15,0 | 5,0 |

Продолжение табл.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|-------------------------------|------|------|-----|
| 46 | P43 (6) 1600 (III А, III Б) ш | 13,5 | 15,5 | 5,5 |
| 47 | P43 (6) 1840 (III А, III Б) ш | 13,0 | 16,0 | 6,0 |
| 48 | P43 (6) 2000 (III А, III Б) ш | 13,5 | 16,5 | 6,5 |
| 49 | P43 (6) 1440 (VI А, VI Б) ш | 11,5 | 14,5 | 5,0 |
| 50 | P43 (6) 1600 (VI А, VI Б) ш | 12,0 | 15,0 | 5,5 |
| 51 | P43 (6) 1840 (VI А, VI Б) ш | 12,5 | 15,5 | 6,0 |
| 52 | P43 (6) 2000 (VI А, VI Б) ш | 13,0 | 16,0 | 6,5 |

II Гравийный или песчаный балласт, шпалы деревянные

| | | | | |
|----|-----------------------------------|------|------|-----|
| 53 | P65 (6) 1440 (I А, I Б) гр, п | 15,5 | 17,0 | 6,0 |
| 54 | P65 (6) 1600 (I А, I Б) гр, п | 16,0 | 19,0 | 6,5 |
| 55 | P65 (6) 1840 (I А, I Б) гр, п | 16,5 | 22,0 | 7,0 |
| 56 | P65 (6) 2000 (I А, I Б) гр, п | 17,0 | 24,0 | 7,5 |
| 57 | P65 (6) 1440 (II А, II Б) гр, п | 15,0 | 16,0 | 5,5 |
| 58 | P65 (6) 1600 (II А, II Б) гр, п | 15,5 | 18,0 | 6,0 |
| 59 | P65 (6) 1840 (II А, II Б) гр, п | 16,0 | 19,0 | 6,5 |
| 60 | P65 (6) 2000 (II А, II Б) гр, п | 16,5 | 20,0 | 7,0 |
| 61 | P65 (6) 1440 (III А, III Б) гр, п | 13,0 | 16,0 | 5,0 |
| 62 | P65 (6) 1600 (III А, III Б) гр, п | 13,5 | 16,5 | 5,5 |
| 63 | P65 (6) 1840 (III А, III Б) гр, п | 14,0 | 17,0 | 6,0 |
| 64 | P65 (6) 2000 (III А, III Б) гр, п | 14,5 | 18,0 | 6,5 |
| 65 | P65 (6) 1440 (VI А, VI Б) гр, п | 13,0 | 15,5 | 4,5 |
| 66 | P65 (6) 1600 (VI А, VI Б) гр, п | 13,5 | 16,0 | 5,0 |
| 67 | P65 (6) 1840 (VI А, VI Б) гр, п | 14,0 | 16,5 | 5,5 |
| 68 | P65 (6) 2000 (VI А, VI Б) гр, п | 14,5 | 17,0 | 6,0 |
| 69 | P50 (6) 1440 (I А, I Б) гр, п | 12,5 | 15,0 | 4,0 |
| 70 | P50 (6) 1600 (I А, I Б) гр, п | 13,0 | 15,5 | 4,5 |
| 71 | P50 (6) 1840 (I А, I Б) гр, п | 13,5 | 16,0 | 5,0 |
| 72 | P50 (6) 2000 (I А, I Б) гр, п | 14,0 | 16,5 | 5,5 |
| 73 | P50 (6) 1440 (II А, II Б) гр, п | 12,0 | 14,5 | 4,0 |
| 74 | P50 (6) 1600 (II А, II Б) гр, п | 12,5 | 15,0 | 3,5 |
| 75 | P50 (6) 1840 (II А, II Б) гр, п | 13,0 | 15,5 | 5,0 |
| 76 | P50 (6) 2000 (II А, II Б) гр, п | 13,5 | 16,0 | 5,5 |
| 77 | P50 (6) 1440 (III А, III Б) гр, п | 13,0 | 14,0 | 4,0 |
| 78 | P50 (6) 1600 (III А, III Б) гр, п | 12,5 | 14,5 | 4,5 |
| 79 | P50 (6) 1840 (III А, III Б) гр, п | 13,0 | 15,0 | 5,0 |
| 80 | P50 (6) 2000 (III А, III Б) гр, п | 13,5 | 15,5 | 5,5 |
| 81 | P50 (6) 1440 (VI А, VI Б) гр, п | 11,0 | 14,0 | 5,0 |
| 82 | P50 (6) 2000 (VI А, VI Б) гр, п | 11,5 | 14,5 | 5,5 |
| 83 | P50 (6) 1840 (VI А, VI Б) гр, п | 12,0 | 15,0 | 6,0 |
| 84 | P50 (6) 1600 (VI А, VI Б) гр, п | 12,5 | 16,0 | 6,5 |
| 85 | P43 (6) 1440 (I А, I Б) гр, п | 11,0 | 13,5 | 5,5 |
| 86 | P43 (6) 1600 (I А, I Б) гр, п | 11,5 | 14,0 | 5,5 |
| 87 | P43 (6) 1840 (I А, I Б) гр, п | 12,0 | 14,5 | 6,0 |
| 88 | P43 (6) 2000 (I А, I Б) гр, п | 12,5 | 15,0 | 6,5 |
| 89 | P43 (6) 1440 (II А, II Б) гр, п | 10,5 | 13,0 | 4,5 |
| 90 | P43 (6) 1600 (II А, II Б) гр, п | 11,5 | 13,5 | 5,0 |
| 91 | P43 (6) 1840 (II А, II Б) гр, п | 11,5 | 14,0 | 5,5 |
| 92 | P43 (6) 2000 (II А, II Б) гр, п | 12,0 | 14,5 | 6,0 |
| 93 | P43 (6) 1440 (III А, III Б) гр, п | 10,0 | 12,5 | 4,0 |
| 94 | P43 (6) 1600 (III А, III Б) гр, п | 10,5 | 13,0 | 4,5 |
| 95 | P43 (6) 1840 (III А, III Б) гр, п | 11,0 | 13,5 | 5,0 |
| 96 | P43 (6) 2000 (III А, III Б) гр, п | 11,5 | 14,0 | 5,5 |
| 97 | P43 (6) 1440 (VI А, VI Б) гр, п | 10,0 | 12,0 | 4,0 |
| 98 | P43 (6) 1600 (VI А, VI Б) гр, п | 10,5 | 12,5 | 4,5 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----|---------------------------------|------|------|-----|
| 99 | P43 (6) 1840 (VI А, VI Б) гр, п | 11,0 | 13,0 | 5,0 |
| 100 | P43 (6) 2000 (VI А, VI Б) гр, п | 11,5 | 13,5 | 5,5 |

III Щебеночный балласт, шпалы железобетонные, скрепление КБ

| | | | | |
|-----|---------------------|------|------|------|
| 101 | P65 (6) 1440 (жб) щ | 24,0 | 46,0 | 9,0 |
| 102 | P65 (6) 1600 (жб) щ | 25,0 | 48,0 | 9,5 |
| 103 | P65 (6) 1840 (жб) щ | 26,0 | 50,0 | 10,0 |
| 104 | P65 (6) 2000 (жб) щ | 26,8 | 52,0 | 12,0 |
| 105 | P50 (6) 1440 (жб) щ | 22,0 | 40,0 | 8,0 |
| 106 | P50 (6) 1600 (жб) щ | 22,5 | 42,0 | 8,5 |
| 107 | P50 (6) 1840 (жб) щ | 23,0 | 44,0 | 9,0 |
| 108 | P50 (6) 2000 (жб) щ | 24,0 | 48,0 | 9,5 |

Таблица 2

Значения модулей упругости подрельсового основания при горизонтальном изгибе и кручении рельсовых нитей

| Параметры | Количество шпал на 1 км | Тип рельсов | | |
|--|-------------------------|-------------|-------|-------|
| | | P65 | P50 | P43 |
| Модуль упругости при горизонтальном изгибе, U_z , МПа | 1440 | 20,0 | 19,0 | 19,0 |
| | 1600 | 22,0 | 22,0 | 22,0 |
| | 1840 | 23,0 | 23,0 | 23,0 |
| | 2000 | 24,0 | 24,0 | 24,0 |
| Модуль упругости при кручении рельса, U_ϕ , кН/радиан | 1440 | 300,0 | 200,0 | 158,0 |
| | 1600 | 340,0 | 218,0 | 176,0 |
| | 1840 | 350,0 | 226,0 | 182,0 |
| | 2000 | 360,0 | 232,0 | 183,0 |

На участках пути (с рельсами типа Р65) при укладке железобетонных шпал вместо негодных деревянных шпал при кустовой гнилости последних средние значения вертикальных модулей упругости рельсового основания в зависимости количества железобетонных шпал на звене составляют в интервале нагрузок 40–80 кН 18,7–26,0 МПа, минимальные 13,0–14,7 МПа, а максимальные 39,1–50,0 МПа. Поперечная жесткость пути по головке рельса на таких участках составляет 10–20 кН/мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила расчета верхнего строения железнодорожного пути на прочность. М: ЦНИИ МПС, 1954.
2. Ершков О. П. Характеристики пространственной упругости рельсовой нити. Труды ЦНИИ, вып. 792. – М: Трансжелдориздат, 1960.
2. Ершков О. П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках. Труды ЦНИИ, вып. 264. – М: Трансжелдориздат, 1963.
3. Справочник инженера-путейца / Под ред. В. В. Баилова и М. А. Чернышева. Т. 1. – М: Транспорт, 1972.
4. Рекомендации ОСЖД по единой методике определения рационального модуля упругости и рациональной жесткости элементов скрепления. Р742 от 16.02.1975.
5. Рекомендации ОСЖД по оптимальному модулю упругости подрельсового основания с железобетонными и другими подрельсовыми основаниями в вертикальном направлении Р714 от 14.10.1979.
7. Фришман М. А., Климов В. И. Об условном модуле упругости рельсового основания при изгибе вверх / Межвузовский сборник научных трудов, вып. 151. – Д., ДИИТ, 1974.
8. Климов В. И., Рыбкин В. В. Исследование влияния нелинейных характеристик подрельсового основания на напряженно-деформированное состояние пути. Межвузовский сборник научных трудов, вып. 257. – Д., ДИИТ, 1987.
9. Татуревич А. П., Янин В. М. Характеристика пространственной жесткости (модуля упругости) железобетонного рельсового основания в период просроченного капитального ремонта пути. Межвузовский сборник научных трудов, вып. 196. – Д., ДИИТ, 1974.
10. Управление надежностью бесстыкового пути / Под редакцией В. С. Лысюка. – М: Транспорт, 1999.