

УДК 625.1.03

В. В. РЫБКИН, доктор технических наук; И. А. БОНДАРЕНКО, ассистент; Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, г. Днепропетровск

О КОРРЕКТИРОВКЕ ПРАВИЛ РАСЧЕТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ НА ПРОЧНОСТЬ

Предложено рассматривать модуль упругости пути как диапазон значений. Внесены корректировки для расчета пути на прочность.

Одним из важнейших и наиболее трудных вопросов при решении задач, связанных с необходимостью определения прочности пути, является выбор значений модуля упругости U как главного параметра деформативности пути.

С учетом имеющихся научных результатов в области теоретических и экспериментальных исследований взаимодействия пути и подвижного состава в работе [1] предложена новая методика определения модуля упругости пути в вертикальной плоскости. Главное отличие предложенной методики состоит в возможности определения не среднего значения U и дальнейшего расчета по этой приближенной характеристике напряженного состояния элементов железнодорожного полотна, а определение диапазона значений $U^I \dots U^{II}$, позволяющего получить высокую точность характеристик напряженного состояния элементов пути без проведения эксперимента. Значения модуля упругости по предложенной методике зависят от рода грунта, составляющего земляное полотно для эталонной конструкции $U_{min} \dots U_{max}$; типа и эпюры шпал, а также типа скрепления, учитывающихся коэффициентом τ_1 ; рода и толщины балластного слоя – τ_2 . Таким образом, зная конструкцию пути на участке, можно определить минимальное значение модуля упругости, используемое для определения напряжений в рельсах:

$$U^I = U_{min} \tau_1 \tau_2, \quad (1)$$

и максимальное – для определения напряжений в остальных элементах пути:

$$U^{II} = U_{max} \tau_1 \tau_2. \quad (2)$$

Предложенная методика влечет за собой изменения в расчетном аппарате.

Коэффициенты относительной жесткости подрельсового основания и рельса определяются по формулам:

$$k^I = \sqrt[4]{\frac{U^I}{4EI}}, \quad k^{II} = \sqrt[4]{\frac{U^{II}}{4EI}}. \quad (3)$$

Максимальная эквивалентная нагрузка для рас-

четов напряжений в рельсах от изгиба определяется по формуле

$$P_{экр}^I = P_{дин}^{max} + \sum \mu_i \bar{P}_i, \quad (4)$$

где μ_i – ординаты линий влияния изгибающих моментов рельса в сечениях пути, расположенных под колесными нагрузками от осей экипажа, смежных с расчетной осью.

Максимальная эквивалентная нагрузка для расчетов напряжений и сил в элементах подрельсового основания определяется по формуле

$$P_{экр}^{II} = P_{дин}^{max} + \sum \eta_i \bar{P}_i, \quad (5)$$

где η_i – ординаты линий влияния прогибов рельса в сечениях пути, расположенных под колесными нагрузками от осей экипажа, соприкасающихся с расчетной осью.

Изгибающий момент в рельсах от действия эквивалентной нагрузки определяется по формуле

$$M = \frac{P_{экр}^I}{4k^I} \quad (6)$$

Максимальная нагрузка на шпалу

$$Q = \frac{k^{II} l_{шп}}{2} P_{экр}^{II} \quad (7)$$

Максимальный прогиб рельса

$$y = \frac{k^I}{2 \cdot 10^3 U^I} \cdot P_{экр}^I \quad (8)$$

Максимальные напряжения в элементах верхнего строения пути определяются по известным зависимостям.

Профессором М.Ф. Вериго была предложена [2, 3] следующая расчетная формула для определения значений среднеквадратичного отклонения динамической нагрузки колеса на рельс, обусловленной силами инерции неподрессоренной массы вследствие наличия на поверхности катания колес непрерывных неровностей:

$$S_{\text{ннк}} = \frac{0,225K_0qUv^2}{d^2k}, \quad (9)$$

где K_0 – коэффициент, характеризующий степень неравномерности образования проката поверхности катания колес вагонов, электровозов и тепловозов, $K_0 = 0,5 \cdot 10^{-4}$;

q – неподрессоренный вес, приходящийся на одно колесо, кг;

U – модуль упругости пути, кг/см²;

v – скорость движения колеса, км/ч;

d – диаметр колеса, см.

В последующих исследованиях проф. М.Ф. Вериги [4] показал, что формула (9) имеет неточности вследствие того, что поправка на жесткость пути введена в нее для расчетных условий с деревянными шпалами при жесткости рельсовой нити

$\frac{2U}{k} = 33000$ кг/см, для которой величина динамического

коэффициента, предложенного проф. Г.М. Шахуняцем [5], была близка к единице. Эта неточность не оказывала существенного влияния на величину определяемых сил инерции неподрессоренных частей при расчетах, выполненных для пути с деревянными шпалами при жесткостях, близких к первоначальным расчетным условиям вывода этой формулы (т.е. менее 33000 кг/см). Однако при переходе к расчетам пути с железобетонными шпалами (при жесткости рельсовых нитей около 100000 кг/см) расчеты по формуле (9) приводили к завышенным значениям сил инерции неподрессоренных частей, возникающим вследствие непрерывных неровностей на поверхности катания колес. Ввиду этого расчетная формула (9) была откорректирована [5] с учетом выражения для максимального значения динамического коэффициента и представлена в виде формулы

$$S_{\text{ннк}} = \frac{K_1 U v^2 \sqrt{q}}{d^2 \sqrt{kU - 3,26k^2 q}}, \quad (10)$$

где K_1 – коэффициент, характеризующий степень неравномерности образования проката поверхности катания колес вагонов, электровозов и тепловозов; $K_1 = 0,052$.

Следует отметить, что формула (10) обращается в неопределенность при условии

$$\sqrt{ku - 3,26k^2 q} \leq 0. \quad (11)$$

Современные экспериментальные исследования показывают, что проведенные ранее измерения дают завышенные значения модулей упругости пути, так как они не учитывали прогиб земляного полотна. В силу различий и особенностей восприятия нагрузок конструкциями пути на деревянных и железобетонных шпалах ошибки измерений бы-

ли различными: для пути на деревянных шпалах – меньшими, для пути на железобетонных шпалах – большими. Поэтому значения модулей упругости пути на деревянных шпалах, полученные в натуральных условиях, близки к значениям, рекомендованным «Правилами производства расчетов верхнего строения железнодорожного пути на прочность», а для пути на железобетонных шпалах – на порядок отличаются от них. В результате решения неравенства (11) видно, что жесткость менее 33000 кг/см соответствует пути с рельсами типа Р75 при $U \leq 12,5$ МПа; Р65 – при $U \leq 13,5$ МПа; Р60 – при $U \leq 14,2$ МПа; Р50 – при $U \leq 16,3$ МПа.

Наличие диапазона модуля упругости пути $U^I \dots U^{II}$ также требует внесения корректировки в формулы (9), (10). Поэтому определение $S_{\text{ннк}}$ предложено производить по следующим зависимостям:

- при $U > 12$ МПа

$$S_{\text{ннк}}^I = \frac{K_1 \alpha_0 U^I v^2 \sqrt{q}}{d^2 \sqrt{k^I U^I - 0,32k^{I^2} q}},$$

$$S_{\text{ннк}}^{II} = \frac{K_1 \alpha_0 U^{II} v^2 \sqrt{q}}{d^2 \sqrt{k^I U^{II} - 0,32k^{I^2} q}}; \quad (12)$$

- при $U \leq 12$ МПа

$$S_{\text{ннк}}^I = \frac{K_0 \alpha_0 U^I v^2 q}{d^2 k^I}, \quad S_{\text{ннк}}^{II} = \frac{K_0 \alpha_0 U^{II} v^2 q}{d^2 k^{II}},$$

где $K_1 = 1,63 \cdot 10^{-5}$, $K_0 = 1,125 \cdot 10^{-6}$; единицы измерения: d – м, k – м⁻¹, q – кН, U – МПа, v – км/ч, $S_{\text{ннк}}$ – кН.

Значения коэффициентов, учитывающих отношение неподрессоренной массы колеса к сумме неподрессоренной массы колеса и приведенной к контакту колеса и рельса массы пути (α_0) и соотношение коэффициентов α_0 для пути с железобетонными и деревянными шпалами, зависящих от значений модуля упругости пути (α_1), также должны быть изменены.

За период с момента утверждения «Правил...» (1954 г.) условия эксплуатации железных дорог изменились, поэтому существует необходимость в пересчете коэффициентов α_0 и α_1 согласно изменениям, связанным с вводом предлагаемой методики, а также с учетом основных конструкций верхнего строения пути.

Согласно «Положениям про проведения планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України» (ЦП/0113, від 10.08.2004 р. №630-ЦЗ) на главных путях установлены две конструкции пути:

- звеньевой путь на деревянных шпалах (рельсы типа Р65, шпалы типа ІА, балласт щебеночный с

толщиной слоя под шпалой 0,40 м, толщина песчаной подушки 0,2 м);

- бесстыковой путь на железобетонных шпалах (рельсы типа Р65, шпалы типа Ш1-1, крепление КБ с толщиной прокладок 7 и 10 мм, балласт щебеночный с толщиной слоя под шпалой 0,4 м, толщина песчаной подушки 0,2 м).

Для вышеперечисленных исходных данных были проведены расчеты с помощью метода конечных элементов [1]. Все элементы конструкции пути рассматривались как объекты, впоследствии объединенные в единую модель, с соответствующими параметрами, учитывающими как геометрические, так и физические свойства. К обоим рельсам прикладывались вертикальные силы. Место и площадь приложения сил соответствовали месту и площади контакта колесной пары вагона с железнодорожной колеей при центральном положении

первой. После проведения расчета были получены параметры напряженно-деформированного состояния как всей модели в целом, так и отдельных ее элементов. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Результаты проведенного сопоставления значений приведенных масс пути и коэффициентов α_0 с материалами других экспериментальных и теоретико-экспериментальных исследований этих показателей ($m_n=2,42...7,41 \text{ кг}\cdot\text{см}^{-1}\cdot\text{с}^2$, $\alpha_0=0,458...0,216$ [2], $m_n=0,4...1,0 \text{ кг}\cdot\text{см}^{-1}\cdot\text{с}^2$ [6], $m_n=0,7...1,1 \text{ кг}\cdot\text{см}^{-1}\cdot\text{с}^2$ [7], $m_n=1,51 \text{ кг}\cdot\text{см}^{-1}\cdot\text{с}^2$, $\alpha_0=0,61$ [8]), дают основания полагать, что порядок их значений является правильным и полученные результаты с известной приближенностью можно распространить в диапазоне эксплуатационных скоростей движения на локомотивы и другие типы подвижного состава.

Таблица 1 – Определение значений коэффициента α_0 в зависимости от рода грунта

Род грунта	κ	$m_{рш}$ кг·см ⁻¹ ·с ²	$m_б$	$m_{гр}$	m_n	α_0	α_1
Пылевато-суглинистые	0,0100	0,475	1,99	2,18	4,66	0,276	0,99
	0,0099	0,208	2,09	2,36	4,66	0,278	1
Супесь, легкий суглинок	0,0105	0,45	1,82	2,42	4,7	0,275	0,92
	0,0104	0,197	1,95	2,1	4,25	0,3	1
Суглинок средний, суглинок тяжелый	0,0092	0,52	2,26	2,85	5,63	0,224	0,89
	0,0091	0,226	2,26	2,76	5,25	0,253	1
Глина легкая	0,0087	0,55	2,38	3,06	5,98	0,23	0,94
	0,0086	0,24	2,42	2,9	5,56	0,243	1
Глина средняя	0,0104	0,46	1,79	1,78	4,03	0,31	0,79
	0,0102	0,2	1,98	0,62	2,81	0,39	1
Глина тяжелая	0,012	0,41	1,4	1,2	3,0	0,377	0,97
	0,0124	0,166	1,54	1,33	3,04	0,37	1

Примечание – Верхняя строка – для пути на железобетонных шпалах, нижняя – для пути на деревянных шпалах.
Здесь $m_{рш}$ – приведенная масса рельсошпальной решетки;
 $m_б$ – приведенная масса балласта;
 $m_{гр}$ – приведенная масса грунта;
 m_n – приведенная масса пути.

На основании этого в расчетные формулы для определения среднеквадратичных отклонений $S_{инк}$, $S_{инк}$, $S_{инп}$ можно рекомендовать введение коэффициентов, приведенных в таблице 1.

Предложения по корректировке расчетного аппарата и коэффициентов, зависящих от значения модуля упругости пути для различных конструкций железнодорожного полотна, позволят подходить к оценке прочности пути более дифференцированно и определять характеристики напряженного состояния элементов пути без проведения эксперимента.

Список литературы

- 1 Бондаренко И.А. К вопросу определения модуля упругости пути в вертикальной плоскости // Транспортні системи і технології. Вып. 5. – 2004. – С. 16–27.
- 2 Вериго М.Ф. Вертикальные силы, действующие на же-

лезнодорожный путь при прохождении подвижного состава // Труды ВНИИЖТа. – Вып. 97. – 1955. – С. 25–289.

3 Вериго М.Ф., Данилов В.Н., Бромберг Е.М., Фришман М.А. Взаимодействие пути и подвижного состава. – М.: Трансжелдориздат, 1956. – 280 с.

4 Вериго М.Ф. Основные положения методики расчета сил, действующих на железобетонные шпалы // Усовершенствование железобетонных шпал: Труды ЦНИИ МПС. Вып. 257. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – С. 28–73.

5 Шахуняц Г.М. Устройство железнодорожного пути. Т. III. – М.: Трансжелдориздат, 1944. – 290 с.

6 Лазарян В.А., Фришман М.А., Воробейчик Л.Я., Липовский Р.С. Экспериментальное определение характеристик неупругого сопротивления пути // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: Труды ДИИТа. – Вып. 83.

7 Полетаев В.И. Исследования характеристик упругости и динамических свойств железнодорожного пути и стрелочных переводов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л.: ЛИИЖТ, 1969.

8 Гасанов А.И. О приведенной массе пути // Вестник ЦНИИ МПС. – 1968. – № 6.

Получено 19.04.2004

V. V. Rybkin, I. A. Bondarenko. To a question on necessity of updating of rules calculations of a railway way on durability and offers on their change.

It is offered to consider the module of way's elasticity as a range of values. Updating of rules on durability calculations the railway.