

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТА НА ЗНАЧЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПУТИ

У данній роботі доведена необхідність корегування значень вертикального модуля пружності колії шляхом врахування роду ґрунта земляного полотна, його стану та товщини й стану баластного шару. Надана чисельна оцінка параметрів, що впливають на модуль пружності колії.

В данной работе доказана необходимость корректировки значений вертикального модуля упругости пути, путем учета рода грунта земляного полотна, его состояния и толщины балластного слоя и его состояния. Дана численная оценка параметров, влияющих на модуль упругости пути.

The necessity of updating of values of the vertical module of a track elasticity is proved, by taking into account of a sort of the subgrade soil its state both thickness of a ballast layer and its state. The numerical rating of parameters influencing the module of the track elasticity is given.

В основе требований, предъявляемых к конструкции пути, лежат условия обеспечения его прочности и устойчивости, а также экономичности.

Расчетами на прочность устанавливается минимально необходимая конструкция верхнего строения пути в тех или иных условиях эксплуатации, а целесообразная конструкция верхнего строения в зависимости от грузонапряженности определяется технико-экономическими расчетами. Условия эксплуатации определяют напряженно-деформированное состояние пути. Определение вышеуказанного состояния в настоящее время производится по «Правилам производства расчетов верхнего строения железнодорожного пути на прочность» [1] и по результатам эксперимента. Для расчета по этой методике необходимы исходные величины, характеризующие особенности взаимодействия пути и подвижного состава с учетом необходимых условий эксплуатации.

Характеристики и параметры пути, определяющие его прочность, надежность, а в конечном итоге расходы на его текущее содержание делятся на три группы: конструкционные, геометрические и физико-механические. Первая группа (погонный вес рельса, тип шпал, их число, род балласта, его толщина, поперечный профиль земляного полотна) получены и определены в результате опыта эксплуатации железных дорог и с учетом научных разработок. Вторая группа (допустимые длина и амплитуда неровности на поверхности катания рельсов, характеристики состояния колеи в плане профиля и по уровню) определяются, в основном условиями обеспечения безопасности движения и стремлением снизить расходы на текущее содержание и устройство пути. Третья группа (моменты инерции и сопротивления рельсов,

твердость рельсовой стали, жесткость элементов пути, неравноупругость по протяжению пути, характеристики земляного полотна и балласта и т. д.) являются наименее исследованными для разработки рациональных значений параметров пути в зависимости от условий эксплуатации.

Одной из величин, входящих в третью группу, и относящихся к исходным данным для расчета пути на прочность является модуль упругости подрельсового основания. Он зависит от жесткости связей между элементами пути и изгибной жесткости рельса и шпал, балласта, земляного полотна, что в свою очередь влияет на величину нагрузки от вышележащего элемента на нижележащий при проходе колес подвижного состава, а также на силу взаимодействия пути и подвижного состава.

В «Правилах...» величина модуля упругости рельсового основания при укладке пути на деревянные шпалы в летнее время составляет примерно 20–30 МПа, в зимнее время 45–50 МПа. Значения модуля упругости, приведенные в «Правилах...», учитывают его зависимость от типа шпал, их длины и числа, типа рельсов, рода балласта. Такой подход «уравнивает» условия эксплуатации различных участков пути.

В экспериментальных исследованиях для получения значения модуля упругости используют петлю гистерезиса, полученную при статическом нагружении [2] и аналитические выражения, предложенные О. П. Ершковым [3].

Жесткость, получаемая экспериментально, учитывает и состояние материалов, и жесткость связей между элементами, и их изгибные свойства, что в полной мере отражает условия эксплуатации. Однако определение значения модуля упругости экспериментально достаточно

трудоемко и измерения его производятся только в исследовательских целях.

В данной работе производится уточнение значения модуля упругости пути. Корректировка этой величины производится за счет учета рода грунта земляного полотна, его состояния и толщины балластного слоя и его состояния.

Для проведения исследований по влиянию рода земляного полотна на модуль упругости пути были составлены расчетные схемы пути как сложной механической системы, позволяющей имитировать работу элементов пути в вертикальной плоскости более полно соответствующую реальным условиям и состоящую из следующих элементов: земляное полотно, балластный слой, шпалы, скрепления, рельсы. Поперечный профиль земляного полотна соответствует нормальному типовому профилю насыпи для прямого однопутного участка линий первой категории высотой 3 м. Конструкция призмы – однослойная. Геометрические разме-

ры шпал и рельсов соответствуют ГОСТам, определяющим их тип. Поверхности контактов всех составляющих модели «склеены» между собой. Возможность применения модели рассмотрена в [4].

Вертикальные силы прикладывались к обоим рельсам. Место и площадь приложения сил соответствует, месту и площади контакта колесной пары вагона с железнодорожной колеей при центральном положении первой. После проведения расчета получаем результат напряженно-деформированного состояния как всей модели в целом, так и отдельных ее элементов. Модуль упругости пути определялся по известным зависимостям, описанным в [2; 3].

При исследовании, так как грунты характеризуются плотностью, связностью, влажностью, по этим параметрам они были разбиты на пять групп, характеристики которых приведены в табл. 1 по данным [5–8].

Таблица 1

Характеристики грунтов по группам

Группа	Грунт	Коэффициент пористости ϵ	Нормативные значения удельных сцеплений C , кг/см ²	Угол внутреннего трения φ , град.	Модуль Юнга, E , МПа
1	Пылеватый грунт	0,45–0,75	0,08–0,02	36–26	25–30
2	Супесь	0,45–0,75	0,15–0,03	30–21	30–40
	Легкий суглинок	0,45–0,95	0,47–0,19	26–20	30–40
3	Суглинок средний	0,45–0,95	0,39–0,15	24–14	15–25
	Суглинок тяжелый	0,65–1,05	0,25–0,12	19–12	15–25
4	Глина легкая	0,55–1,05	0,81–36	21–14	10–31
5	Глина средняя	0,65–1,05	0,57–0,32	18–11	20–80
	Глина тяжелая	0,65–1,05	0,45–0,29	15–7	80–300

Были произведены вычисления для каждой группы грунтов при изменении следующих величин:

- материалов балласта (щебень, песок, гравий, ракушка);
- типов рельсов (P75, P65, P50, P43);
- типов шпал (IA, IB, IIA, IIB, IIIA, IIIB, IVA, IVB).

Также рассматривались варианты изменения жесткости по протяжению пути вводом силовой неровности:

- сила прикладывалась в пролете и над шпалой;
- при различных эпюрах шпал и смещении осей шпал на 8 см;
- при наличии куста гнилых шпал;

- при различной толщине балластного слоя;
- при различной влажности грунта и балласта.

В расчетах использованы данные существующих балластных материалов, характеристики которых достаточно широко описаны в [6; 8–10].

На основании данных, полученных путем математического моделирования, можно говорить о таких результатах.

На формирование модуля упругости пути влияют следующие показатели:

1. Изменение типа рельсов с P50 на P65 влечет за собой увеличения модуля упругости пути соответственно на 6 %;

2. Изменение типа шпал с IA на ПА уменьшает значение модуля упругости пути на 4 %;

3. При уменьшении расстояния между осями шпал с 0,625 – 0,5 м, модуль упругости пути увеличивается на 4 %;

4. Кустовая разрядка и сгущение шпал на допуск 8 см изменяет модуль упругости пути: при разрядке уменьшает на 12 %, при сгущении увеличивает до 16 %;

5. Наличие куста из трех гнилых шпал уменьшает модуль упругости пути на 31 %;

6. При увеличении толщины слоя балласта с 25 – 40 см, модуль упругости пути увеличивается соответственно на 37 %;

7. При увлажнении, с уменьшением углов внутреннего трения ϕ грунта и балласта уменьшается сопротивление грунта сдвигу, тем самым, уменьшая модуль упругости на 23 %, при изменении влажности с 10 до 25 %.

Таким образом, значение модуля упругости пути зависит от многих факторов, участвующих

в его формировании, некоторые из них носят случайный характер. Это вызвано как случайным разбросом параметров пути (несоответствие эпюре в пределах допуска, изменение в процессе эксплуатации толщины балластного слоя, неоднородности грунта), так и климатическими условиями, носящими случайный характер. Поэтому в результате исследования были предложены три значения модуля упругости пути для каждой группы грунтов: минимальное, максимальное и среднее. Учитывая особенности расчета пути на прочность, для определения напряжений в рельсах необходимо использовать минимальное значение модуля упругости пути, для определения напряжений в остальных элементах пути – максимальное значение этой величины. Результаты для конструкции пути с рельсами типа Р65, шпалами IA, щебеночным балластом толщиной 40 см, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Модули упругости подрельсового основания в вертикальном направлении U_y (МПа) при осевых нагрузках 220–250 кН.

Группа грунта	Значения модулей U_y (МПа) для летних условий		
	средние	максимальные	минимальные
1	22,5	31,3	13,8
2	28,1	40,7	15,5
3	17,0	26,4	7,5
4	19,5	31,6	7,4
5	35,2	57,7	12,7

ДИИТом на основании экспериментальных исследований [11] были рекомендованы нормы по жесткостям и модулям упругости пути.

Некоторые рекомендованные значения представлены в табл. 3.

Таблица 3

Модули упругости подрельсового основания в вертикальном направлении U_y (МПа) при осевых нагрузках 220–250 кН и скоростях движения до 140 км/ч пассажирских и 90 км/ч грузовых поездов для летних условий

Характеристика конструкции пути	Значения модулей U_y (МПа) для летних условий		
	средние	максимальные	минимальные
Р65(6) 1600 (IA,IB) Щ	17,0	27,0	7,0
Р65(6) 1840 (IA,IB) Щ	19,0	31,0	7,5
Р65(6) 2000 (IA,IB) Щ	25,0	42,0	8,0

Как видно результаты расчетов по исследуемой модели показывают хорошую сходимость

с рекомендованными на основании экспериментальных исследований значениями.

Таким образом, показано влияние рода грунта на значения модуля упругости пути. При этом эти значения не являются постоянным числом даже при опирании верхнего строения пути на грунт одного рода. Параметры, влияющие на формирование модуля упругости пути носят случайный характер, поэтому значения модуля упругости пути находятся в некотором интервале, границы которого определяются как разбросом характеристик, элементов верхнего и нижнего строений пути, так и геометрических отклонений, появляющихся при эксплуатации пути. Тем самым доказана необходимость корректировки значений модуля упругости пути, путем учета рода грунта земляного полотна, его состояния и толщины балластного слоя и его состояния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила производства расчетов верхнего строения железнодорожного пути на прочность. – М.: Трансжелдориздат, 1954. – 70 с.
2. Вериго М. Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава. Труды ВНИИЖТа, вып. 97. – М.: Трансжелдориздат, 1955. – С. 25–288.
3. Ершков О. П. Характеристики пространственной упругости рельсовой нити. Труды ВНИИЖТа, вып. 192. – М.: Трансжелдориздат, 1960. – 59–101 с.
4. Данович В. Д., Рыбкин В. В., Патласов А. М., Бондаренко И. А. Выбор расчетной схемы и параметров железнодорожного пути при расчете методом конечных элементов. – Строительство: Сб. научн. тр. ДИИТа. – Вып. 10. – Д., 2002. – С. 35–45.
5. Под редакцией Подпалого А. Ф., Чернышева М. А., Титова В. П. Справочник по земляному полотну эксплуатируемых железных дорог. – М.: Транспорт, 1978. – С. 5–31
6. Линович Л. Е. Расчет и конструирование частей гражданских зданий. – К.: Будівельник, 1972. – 664 с.
7. Хейстервер Б. Д. О допускаемых напряжениях на земляном полотне. Труды ВНИИЖТа, вып. 97. – М., 1955. – С. 386–410.
8. Вериго М. Ф. Расчет напряжений в балластном слое и на основной площадке земляного полотна. Труды ВНИИЖТа, вып. 97. – М., 1955. – С. 326–352.
9. Под редакцией Варызгина Е. С. Содержание балластной призмы железнодорожного пути. – М.: Транспорт, 1978. – С. 31–47.
10. Попов С. Н. Одопускаемых напряжениях на балласт. Труды ВНИИЖТа, вып. 97. – М., 1955. – С. 353–386.
11. Рыбкин В. В., Гнатенко В. П., Татуревич А. П., Уманов М. И. Определение фактического состояния жесткости рельсовых нитей для исследования взаимодействия экипажей и пути, и оценки факторов, влияющих на износ. Отчет НИЛ ДИИТа, Д., 2001. – 45 С.