

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО СЛОЯ

Для розглядання питань із забезпечення умов міцності, стійкості та деформативності введено поняття стабілізуючого шару. Залежно від вимог з деформативності колії розроблені рекомендації щодо розрахунку параметрів стабілізуючого шару.

Для рассмотрения вопросов по обеспечению условий прочности, устойчивости и деформативности введено понятие стабилизирующего слоя. В зависимости от требований по деформативности пути разработаны рекомендации по расчету параметров стабилизирующего слоя.

For the purpose of considering the issues of safeguarding the conditions of strength, stability and susceptibility to deformations, there has been introduced a concept of stabilizing layer. Depending on the requirements to track susceptibility to deformations, recommendations have been developed for calculating the parameters of stabilizing layer.

Под термином «стабилизирующий слой» будем понимать слой, укладываемый между элементами конструкции пути или слой, являющийся составной частью одного из элементов конструкции пути, толщина которого должна выбираться в зависимости от конкретных характеристик и назначения пути таким образом, чтобы обеспечивались требования прочности и деформативности пути.

Основные требования, предъявляемые к стабилизирующему слою: хорошо распределять нагрузку, стабилизировать вибрации, иметь высокую несущую способность, не пропускать воду и быть устойчивым к промерзанию. Конструкция стабилизирующего слоя определяется геометрическим, физико-механическим и технико-экономическим расчетами. Может состоять из одного или нескольких слоев. Крутизна откосов соответствует крутизне откосов, установленной для данного материала согласно нормативным документам (СНиП П-39-76, ТУМ 34, 31, 25 и др.).

На основании моделирования исследовалось влияние различных факторов на формирование деформативности железнодорожного пути [1; 2]. В качестве исследуемых факторов рассматривались тип и эпюра шпал, тип скреплений, род, толщина и состояние балласта, род и состояние грунта. Был составлен алгоритм исследований и выбраны базовые конструкции пути. Все расчеты по исследованию влияния того или иного фактора проводились для базовых конструкций или относительно них.

При исследовании существенности влияния различных факторов на формирование деформативности железнодорожного пути рассматривались изменения прогибов и напряжений всех элементов конструкции пути, а также при-

веденные массы и процентные соотношения прогибов этих элементов.

В результате исследования было установлено, что основными факторами, влияющими на деформативность пути, является род и состояние грунта. Влияние характеристик грунта и балласта на соотношение прогибов элементов для пути на железобетонных шпалах приведены на рис. 1, где  $E_{тр}$  – модуль деформации грунта, составляющего земляное полотно;  $E_{\sigma}$  – модуль деформации щебня. Так, при неподготовленном земляном полотне доля прогибов земляного полотна составляет 86...96 %, рельсошпальной решетки – 2...4 %, балластного слоя – 2...10 %. А при подготовленном земляном полотне доля прогибов земляного полотна составляет 52...60 %, рельсошпальной решетки – 20...23 %, балластного слоя – 20...25 %.

Деформативность пути - возникновение упругих деформаций в нагруженной конструкции пути, вызванных как упругими изменениями формы или размеров элементов конструкции пути или их частей, так и обусловлены этими изменениями перемещения отдельных точек конструкции пути. Главным параметром деформативности пути является модуль упругости подрельсового основания железнодорожного пути. В процессе теоретических исследований была предложена качественная оценка деформативности пути.

Главным критерием стабилизирующего слоя при оценке и нормировании деформативности пути выступает модуль деформации слоя ( $E_{\text{слоя}}$ ). В зависимости от назначения железнодорожного пути требования, предъявляемые по условиям обеспечения деформативности к нему, а следовательно, и к модулю деформации стабилизирующего слоя различны.

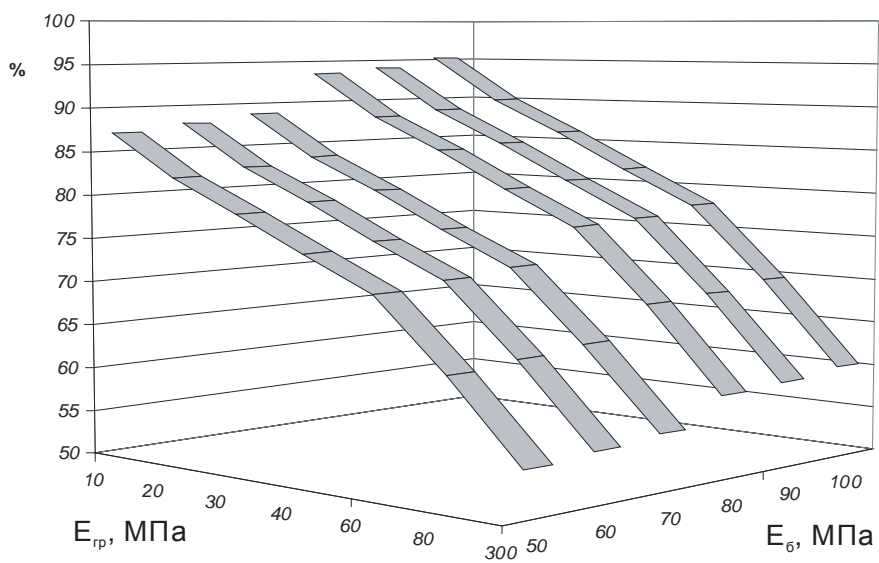
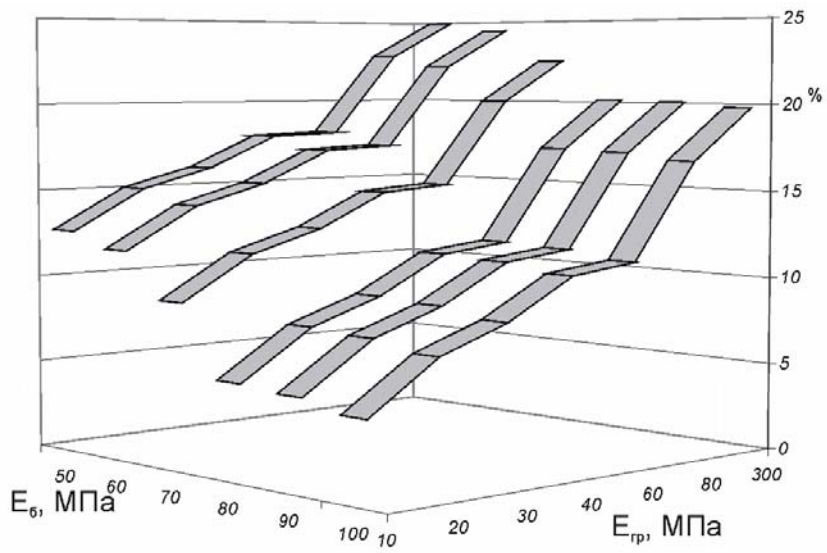
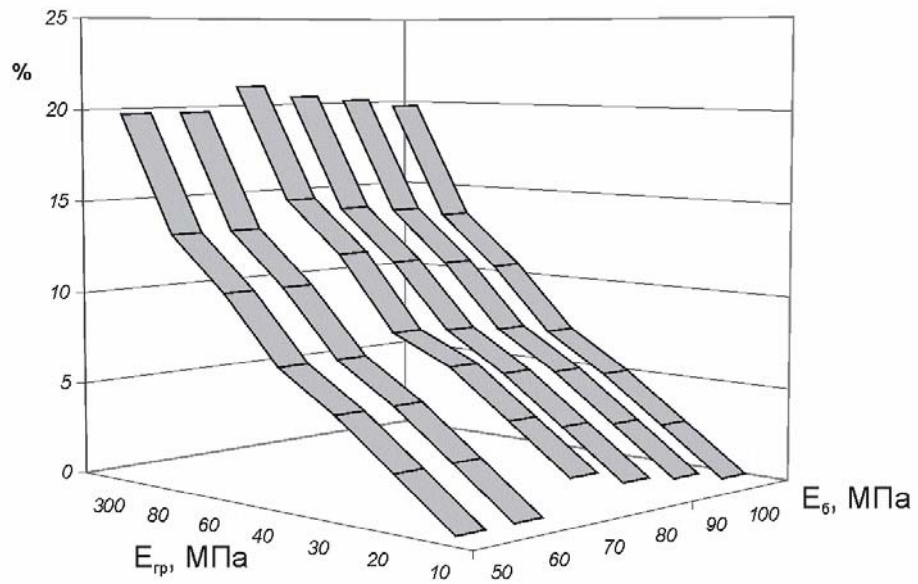


Рис. 1. Графики соотношений прогибов рельсошпальной решетки (а), балласта (б), земляного полотна (в) от модулей деформации грунта и балласта

В процессе эксплуатации имеются участки пути, конструкция которых отличается от типовой конструкции. К этим участкам можно отнести и конструкцию, составляющей которой, является слой загрязненного балласта, образовавшийся в результате проведенных ремонтов; и конструкцию пути усиленную геотекстильными материалами. В любом случае, наличие еще одной составляющей конструкции пути влияет на формирование модуля упругости, а значит и на его напряженно-деформированное состояние.

На основе предложенной методики расчета модуля упругости подрельсового основания [3], разработана методика расчета характеристик «стабилизирующего слоя» и произведен учет влияния этого слоя на формирование модуля упругости. Учитывая предложенную ранее методику определения значений модуля упругости подрельсового основания пути в вертикальной плоскости [3], предлагается в формулы определения указанной величины ввести коэффициент  $\tau_3$ , учитывающий изменения модуля упругости подрельсового основания пути при наличии стабилизирующего слоя:

$$\left. \begin{aligned} U^I &= U_{\min} \tau_1 \tau_2 \tau_3, \\ U^{II} &= U_{\max} \tau_1 \tau_2 \tau_3. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Если стабилизирующий слой формируется из одного материала ( $E = \text{const}$ ), то значения коэффициента  $\tau_3$  берутся соответственно предлагаемым значениям  $\tau_i'$  в зависимости от его материала ( $E$ ), толщины ( $h_{\text{слоя}}$ ) и модуля деформации земполотна ( $E_{\text{тр}}$ ), на которое опирается слой (рис. 2). Если стабилизирующий слой состоит из нескольких слоев, то коэффициент  $\tau_3$  определяется как

$$\tau_3 = \prod_{i=1}^n \tau_i', \quad (2)$$

где  $\tau_i'$  - коэффициенты, что учитывают изменение модуля упругости подрельсового основания пути наличием каждого слоя и показывают эффективность его использования;  $n$  - количество слоев, что составляют стабилизирующий слой.

Главным параметром деформативности пути является модуль упругости подрельсового основания ( $U$ ). При рассмотрении причинно-следственной связи для оценки технического эффекта нормирования жесткости пути получаем следующий результат. Чем меньше значения

модуля упругости, тем больше прогиб, а чем больше прогиб, тем больше амплитуды, что быстрее приводит к расстройству пути. Кроме этого, на определенной стадии возникает следующая зависимость, чем больше модуль упругости, тем жестче путь, и тем менее рентабельны вложения на усиливающий слой. Таким образом, возникает необходимость в нормировании значений модуля упругости подрельсового основания железнодорожного пути. Сущность нормирования состоит в использовании дополнительного качественного критерия по оценке работоспособности пути. Согласно предлагаемой методике расчета [3] определяют минимальные или же максимальные показатели деформативности пути. Сравнивают с фактическими значениями и принимают решение о необходимости мероприятий по изменению жесткости пути.

Используя строительные нормы, можно установить ограничение по величине модуля упругости земполотна, то есть грунты, составляющие его, должны иметь значение модуля деформации не ниже 20 МПа. При принятии этого условия, с учетом зависимости между силами, действующими на рельс, и его деформациями, можно утверждать, что каждой конструкции пути будет отвечать свое минимально-допустимое значение модуля упругости подрельсового основания пути в вертикальной плоскости  $U_{\min \text{ доп}}$ . Таким образом, каждой конструкции пути при влиянии нагрузки на рельс  $P$  будут отвечать свои максимально-допустимые значения прогибов рельсов  $y_{\max \text{ доп}}$ . Прогибы рельсов зависят как от деформаций элементов конструкции, так и от наличия люфтов между ними. Максимальный суммарный прогиб люфтов  $y_{\max \text{ люфт}}$ , устанавливаемый для каждой конструкции пути с учетом геометрических норм и допусков составных его элементов, может служить интегральной оценкой содержания верхнего строения пути. А суммарный прогиб без люфтов может служить интегральной оценкой состояния земполотна. Таким образом, можно контролировать деформативность пути.

Для принятых за базовые конструкций пути, минимально-допустимые значения модулей упругости в вертикальной плоскости при  $E_{\text{тр}} = 20$  МПа, по расчетам посредством программного обеспечения, основанного на использовании метода конечных элементов: для деревянных шпал  $U_{\min \text{ доп}} = 21,3$  МПа, а для железобетонных шпал  $U_{\min \text{ доп}} = 22,4$  МПа.

Используя предложенную методику по определению модуля упругости подрельсового основания пути в вертикальной плоскости, можно определить ограничивающие значения модулей упругости  $U_{\min \text{ доп}}^I$ ,  $U_{\max \text{ доп}}^{II}$  для других конструкций подставляя в (1) вместо  $U_{\min} - U_{\min \text{ доп}}$ , а вместо  $U_{\max} - U_{\max \text{ доп}}$ .

Значения максимальных прогибов рассчитываются

$$y_{\max \text{ доп}} = \frac{P}{\sqrt[4]{64EIU_{\min \text{ доп}}^3}}. \quad (3)$$

Оценивать деформативность пути можно следующим способом:

1. На опытном участке пути измерять статический прогиб от нагрузки  $y_{\text{изм}}$  (при нагрузках 60...160 кН), прогиб от наличия люфтов  $y_{\text{л}}$  (при нагрузках до 40...50 кН). Определить чистый прогиб  $y = y_{\text{изм}} - y_{\text{л}}$ .

2. Рассчитать минимально-допустимые значения модулей упругости подрельсового основания колеи  $U_{\min \text{ доп}}$  и максимально-допустимые значения прогибов  $y_{\max \text{ доп}}$  и  $y_{\max \text{ люфт}}$  для данной конструкции.

3. Сравнить допустимые и измеряемые величины:

а) по условию:  $y_{\max \text{ доп}} \geq y$ ,  $U_{\min \text{ доп}}^I \leq U$  (условие деформативности земполотна),  $y_{\max \text{ люфт}} \geq y_{\text{л}}$  (условие деформативности верхнего строения пути) считать, что путь отвечает требованиям деформативности;

б) по условию:  $y_{\max \text{ доп}} < y$ ,  $U_{\min \text{ доп}}^I > U$ ,  $y_{\max \text{ люфт}} < y_{\text{л}}$  считать, что путь не отвечает требованиям деформативности и принимать решение по повышению его жесткости: либо усилению земполотна, либо жесткости режима содержания верхнего строения пути.

В процессе теоретических исследований на основании влияния модуля деформации грунтов можно предложить для базовых конструкций на деревянных и железобетонных шпалах показатели деформативности пути, приведенные в таблице. Для других конструкций ограничивающие значения модулей упругости  $U_{\min \text{ доп}}^I$  и  $U_{\max \text{ доп}}^{II}$  рассчитывают по (1). Но окончательное решение для принятия границ по критерию деформативности нужно принимать после экспериментальных испытаний, которые бы учитывали не только влияние грунта, но и других элементов конструкции пути, комфортность езды и количество отказов элементов пути, целесообразность и рентабельность усиления.

Таблица

**Качественная оценка деформативности пути для базовых конструкций**

Оценка	Для базовой конструкции на деревянных шпалах		Для базовой конструкции на железобетонных шпалах	
	Модуль упругости подрельсового основания, МПа	Модуль деформации грунта, МПа	Модуль упругости подрельсового основания, МПа	Модуль деформации грунта, МПа
Отлично	$38 \leq U < 78$	$30 \leq E_{\text{гр}} < 60$	$46 \leq U < 71$	$50 \leq E_{\text{гр}} < 120$
Хорошо	$21 \leq U < 38$	$20 \leq E_{\text{гр}} < 30$	$22 \leq U < 46$	$20 \leq E_{\text{гр}} < 50$
Удовлетворительно	$11 \leq U < 21$	$10 \leq E_{\text{гр}} < 20$	$12 \leq U < 22$	$10 \leq E_{\text{гр}} < 20$
	$U_{\max \text{ доп}}^{II} \geq 78$	$E_{\text{гр}} \geq 60$	$U_{\max \text{ доп}}^{II} \geq 71$	$E_{\text{гр}} \geq 120$
Неудовлетворительно	$U_{\min \text{ доп}}^I < 11$	$E_{\text{гр}} < 10$	$U_{\min \text{ доп}}^I < 12$	$E_{\text{гр}} < 10$

Кроме того, методика определения характеристик стабилизирующего слоя применима и при обратной задаче, то есть при подборе конструкции и материалов при проектировании стабилизирующего слоя для изменения жесткости пути:

- при необходимости усиления жесткости конструкции пути

$$\tau_3 = \frac{U_{\min \text{ доп}}^I}{U^I} = \frac{U_{\min \text{ доп}}^I}{U}, \quad (4)$$

где  $U_{\min \text{ доп}}^I$ ,  $U_{\max \text{ доп}}^{II}$ ,  $U$  – соответственно минимально и максимально допустимые по классификации деформативности пути и фактическое значение модуля упругости подрельсового основания пути в вертикальной плоскости. Указанная методика унифицирует многовариантность при выборе конструкции стабилизирующего слоя (рис. 2).

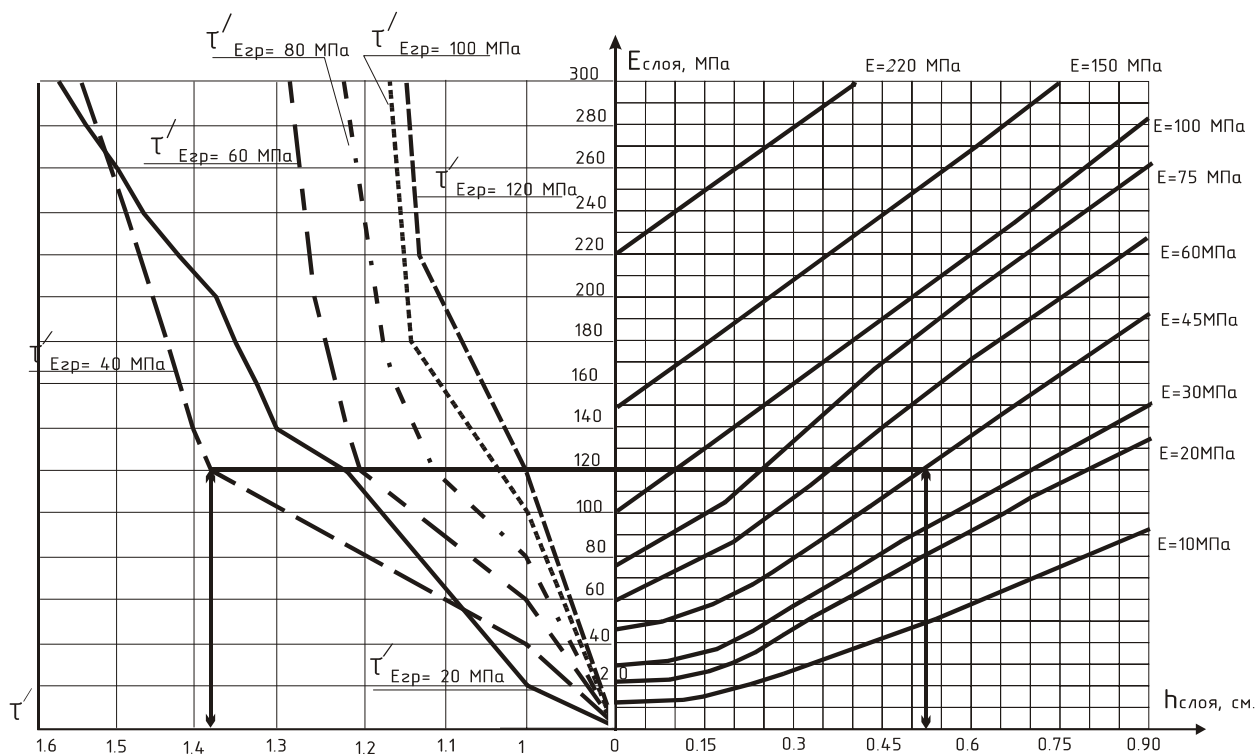


Рис. 2. Номограмма использования различных материалов для устройства стабилизирующих слоев

Использование качественной оценки деформативности пути и методики расчета значений модуля упругости подрельсового основания позволяет в каждом конкретном случае в зависимости от конструкции пути устанавливать рациональный режим эксплуатации данного участка (скорости обращения для вагонов и локомотивов из условия неперевышения допустимых и рекомендуемых напряжений в элементах пути и установленного критерия деформативности пути); и наоборот, дает возможность для заданных условий эксплуатации определять оптимальную по критерию деформативности конструкцию пути, проводить расчеты и проектирование различных конструкций защитных слоев для повышения несущей способности основной площадки при разработке мероприятий по стабилизации или усилению железнодорожного пути.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данович В. Д. Влияние параметров грунта на значения вертикального модуля упругости пути / В. Д. Данович, В. В. Рыбкин, А. М. Патласов, И. А. Бондаренко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д., 2003. – Вип. 2. – С. 151–154.
2. Рыбкин В. В. О корректировке правил расчетов железнодорожного пути на прочность / В. В. Рыбкин, И. А. Бондаренко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт, № 2 (9). – Гомель, 2004. – С. 42–44.
3. Бондаренко И. А. К вопросу определения модуля упругости пути в вертикальной плоскости. // Транспортні системи і технології, – К.: КУЕТТ, 2004. – Вип. 5, – С. 16–27.

Поступила в редколлегию 25.06.2006.