

634.98

Я-45

МИНИСТЕРСТВО
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. С. М. КИРОВА

630*377.71

На правах рукописи

Р. Л. ЯКИМОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ
И ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА
ГОРНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ**

(специальность 05.420, машины, механизмы
и технология лесоразработок, лесозаготовок
и лесного хозяйства)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МИНСК — 1969

634.98

Я-45

МИНИСТЕРСТВО
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. С. М. КИРОВА

На правах рукописи

Р. Л. ЯКИМОВИЧ

Ф. № 19037

1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ
И ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА
ГОРНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

(специальность 05.420, машины, механизмы
и технология лесоразработок, лесозаготовок
и лесного хозяйства)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

БИБЛИОТЕКА БТИ
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

МИНСК — 1969

2245 ар

Работа выполнена во Львовском лесотехническом институте.
Научный руководитель — профессор, доктор технических наук
Н. М. Белая.

Официальные оппоненты:

член-корреспондент АН БССР, доктор технических наук, профессор Б. И. Ладыгин и кандидат технических наук, доцент И. И. Леонович.

Ведущее предприятие — трест «Прикарпатлес» (г. Ивано-Франковск).

Автореферат разослан «...» 1969 г.

Защита состоится «...» 1970 г.
на заседании Совета БТИ им. С. М. Кирова г. Минск, ул. Свердлова, 13-а, корпус 4, ауд. 220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваши отзывы и замечания по автореферату просим направлять в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу Ученого Совета.

Ученый секретарь Совета, кандидат технических наук, доцент,
И. М. Плехов.

ВВЕДЕНИЕ

«...Главную экономическую задачу пятилетки партия видит в том, чтобы на основе всемерного использования достижений науки и техники, индустриального развития всего общественного производства, повышения его эффективности и производительности труда обеспечить дальнейший значительный рост промышленности»... (Директивы XXIII съезда КПСС).

Применительно к лесной промышленности эта задача сформулирована в постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 2. VIII. 1966 г. «О развитии лесозаготовительной промышленности в 1966—1967 гг.», которым предусматривается коренная техническая реконструкция и индустриализация лесозаготовительной промышленности с доведением объема вывозки древесины в 1970 году до 350—365 млн. м³.

Ввод в действие новых мощностей по вывозке древесины планируется в объеме 101,5 млн. м³, в том числе 94,5 млн. м³ в многолесных районах севера, Сибири, Дальнего Востока, где около 70% лесов расположено на горных склонах. Лесопокрываемая площадь горных лесов составляет более 40% площади всех лесных угодий СССР; площадь горной тайги более чем в 50 раз превышает площадь лесных угодий Украинских Карпат и Кавказа. Однако, объем вырубаемой древесины в таежных лесах до настоящего времени значительно меньше расчетной лесосеки, в основном из-за отсутствия достаточного количества лесовозных дорог.

В горных условиях лесоразработок продольные уклоны лесовозных дорог значительно выше, чем в равнинных, и составляют 80÷90 тысячных на узкоколейных железных дорогах, 120÷150 тысячных на автомобильных дорогах, а на канатно-рельсовых дорогах достигают 300÷350 тысячных. Строительство горных лесовозных дорог значительно усложняется необходимостью учитывать специфику геологических, рельефных и гидрологических условий горных склонов.

Отличительной особенностью земляного полотна горных лесовозных дорог является наличие жесткого скального основания под слоем грунта, что приводит к повышению сжимающих напряжений от поездной нагрузки на основной площадке земляного полотна и по глубине грунтового массива.

При проектировании и строительстве горных дорог в таких условиях весьма важно обеспечить продольную и поперечную устойчивость их земляного полотна.

Задачи поперечной устойчивости земляного полотна рассматривались ранее отечественными и зарубежными учеными, и на основании этих исследований установлены типовые поперечные профили земляного полотна.

Задача продольной устойчивости земляного полотна, подстилаемого скальным основанием, до настоящего времени не рассматривалась.

Вопросам нормальной прочности основной площадки земляного полотна, от которой зависит толщина балластной призмы, также до настоящего времени уделялось мало внимания.

Реферируемая работа посвящена исследованию нормальных и касательных напряжений в земляном полотне и под шпалой от действия поездной нагрузки и разработке рекомендаций по расчету продольной устойчивости земляного полотна лесовозных дорог применительно к горным условиям.

В настоящее время в практике расчета устойчивости земляных масс существует два основных направления:

к первому направлению относятся строгие теоретические методы расчетов предельного равновесия сыпучей среды, разработка которых принадлежит В. В. Соколовскому, С. С. Голушкевичу, В. Г. Березанцеву и др.;

ко второму направлению относятся инженерные методы расчета, получившие широкое применение в практике расчетов устойчивости земляных сооружений как в железнодорожном и автодорожном строительстве, так и в гидротехнических сооружениях.

Разработка этих методов принадлежит Г. М. Шахуняцу, М. Н. Гольдштейну, Б. М. Ломнзе, Н. П. Маслову и другим.

В области теории расчета задача распределения напряжений от сосредоточенной силы (плоская и пространственная) в слое грунта, подстилаемого жестким несжимаемым основанием, рассматривалась рядом ученых, как-то: Файлоном (1930 г.), Меланом (1919 г.), Маргерром (1931-1933 гг.), Био (1935 г.), Бурмистером (1956 г.) и др.

Совинц, Дэвис, Егоров в 1960-61 гг. рассмотрели вопрос о напряжениях и перемещениях при действии равномерно распределенной нагрузки.

Эта задача получила свое развитие и в трудах советских ученых: О. Я. Шехтер (1937 г.), К. Е. Егорова (1939-1960 гг.), М. И. Горбунова-Посадова, С. Е. Бирмана (1935 г.) и др.

Вопросы продольной устойчивости земляного полотна, подстилаемого скальным основанием, и ряд специфических задач проектирования горных лесовозных дорог, представляющих интерес в основном для лесной промышленности, в перечисленных выше работах не рассматривались.

Изложенное позволяет считать, что результаты выполненных исследований нормальной прочности и продольной устойчивости земляного полотна горных лесовозных дорог представляют определенный теоретический и практический интерес и будут полезными при разработке технических условий на проектирование горных лесовозных дорог.

В диссертационной работе рассмотрены следующие вопросы: 1) исследованы нормальные и касательные напряжения по подошве шпалы и на основной площадке земляного полотна, подстилаемого жестким скальным основанием, при различных видах поездной нагрузки и различных уклонах безбалластных и балластных узкоколейных железных дорог; 2) исследованы величины и характер распределения нормальных напряжений в теле земляного полотна и на площадке контакта с жестким скальным основанием; 3) установлена критическая глубина залегания скального основания, влияющего на увеличение нормальных напряжений по высоте рыхлого грунтового слоя земляного полотна; 4) исследована продольная устойчивость земляного полотна горных лесовозных дорог с большими уклонами и разработаны рекомендации по расчету продольной устойчивости земляного полотна при плоских линиях скольжения; 5) определены величины уклонов проектной линии продольного профиля из условия устойчивости земляного полотна в зависимости от угла наклона скального основания к горизонту.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования напряженного состояния земляного полотна от поездной нагрузки проводились в два приема: пробные—в 1957 году на канатно-рельсовой дороге перевала «Ластун» в Бергометском лесокombинате, и окон-

чательные — в 1958 году на лесовозной узкоколейной железной дороге Свальявского лесокомбината.

Всего на Свальявской дороге было заложено шесть опытных участков: три — на канатно-рельсовой дороге (ПК 59+00, ПК 57+12, ПК 55+0,5), один — на подъездной ветке (ПК 50+10) и два — на магистральном участке пути (ПК 326+38, ПК 307+45).

Опытные участки располагались соответственно на уклонах 300,0; 150,0; 57,0; 0,0; 17,5; 7,0 тысячных, толщина грунтового слоя, покоящегося на жестком скальном основании, составляла от 1,4 до 1,5 м. Исследования напряженного состояния проводились как на балластных, так и на безбалластных участках дорог. Балластным слоем служил щебень твердых горных пород. Опытные участки содержались согласно требованиям ПТЭ. Состояние пути во время измерения напряжений в земляном полотне практически оставалось стабильным. Нормальные и касательные напряжения по подошве шпалы, в земляном полотне и на скальном основании измерялись месдозами конструкции ЦНИИ МПС. Регистрация сигналов месдоз осуществлялась осциллографом ОТ-24-51 завода «Геофизика».

Месдозы устанавливались под шпалой, на основной площадке и в теле земляного полотна и на контактной площадке между грунтовым слоем и подстилающим жестким скальным основанием. Нормальные и касательные напряжения измерялись в подрельсовом сечении по оси шпалы и по середине шпального пролета при скоростях движения от 3,6 до 20,0 км/час при различных видах подвижного состава: четырехосных платформах типа «Лесосудмашстрой» и паровозах типа ПТ-4 и серии 157.

Экспериментальные замеры напряжений были получены для нескольких типов нагрузок с давлением на ось 2,3; 2,6; 3,0; 3,4; 3,7; 4,0 и 6,5 т.

Всего было зарегистрировано около 600 проходов грузовых поездов и отдельных груженых платформ (канатно-рельсовая ужд) и записано около 4,0 тысяч сигналов месдоз.

Для контроля качества тензометрических исследований с помощью месдоз был разработан и параллельно применен геофизический метод измерения напряжений с помощью штырьевых датчиков-электродов.

Штырьевые датчики-электроды представляют собой латунные штыри сечения 8 мм и длиной 1,0—2,0 м. Перед установкой в грунт штыри электроизолировались с помощью нит-

рокраски по всей длине за исключением свободного конца длиной 70—100 мм. Такой датчик-штырь легко забивается в грунтовый массив без копки шурфа и нарушения структуры земляного полотна.

Этот метод основан на измерении изменения сопротивления электрического тока, проходящего через грунт с различной плотностью (до воздействия и после воздействия поездной нагрузки), т. е.

$$R = f(\rho), \quad (1)$$

где ρ — плотность грунта.

Осциллограммы напряжений, полученные с помощью штырьевых датчиков-электродов, записывались тем же осциллографом ОТ-24-51.

Из анализа осциллограмм следует, что кривые напряжений, полученные с помощью штырьевых датчиков-электродов, по форме и общему характеру аналогичны кривым, полученным с помощью месдоз (рис. 1).

Результаты контрольных измерений напряжений датчиками-электродами позволяют сделать заключение о достаточной точности произведенных экспериментов и их приемлемости для разработки практических рекомендаций по проектированию земляного полотна горных узкоколейных железных дорог.

Следует отметить, что проведение экспериментальных исследований в производственных условиях требовало увязки программы испытаний с суточным графиком движения поездов, что увеличивало продолжительность исследований и несколько ограничивало диапазон нагрузок.

Однако получение напряжений от реальных нагрузок в производственных условиях значительно повышало ценность полученных экспериментальных данных.

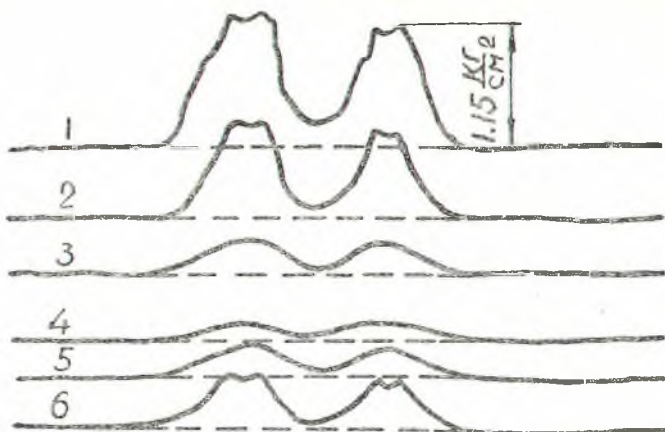
Полученный экспериментальный материал обрабатывался методами математической статистики.

При этом ошибка средней взвешенной ряда наблюдений нормальных и касательных напряжений для большинства опытных данных не превышает 5—10%, что находится в пределах допускаемых погрешностей для метода измерения напряжений месдозами.

Как показали экспериментальные исследования, величина нормальных напряжений по подошве шпалы и на основной площадке земляного полотна, подстилаемого жестким скальным основанием, возрастет пропорционально действующей нагрузке.

а)

Опытный участок № 1



б)

Опытный участок № 1

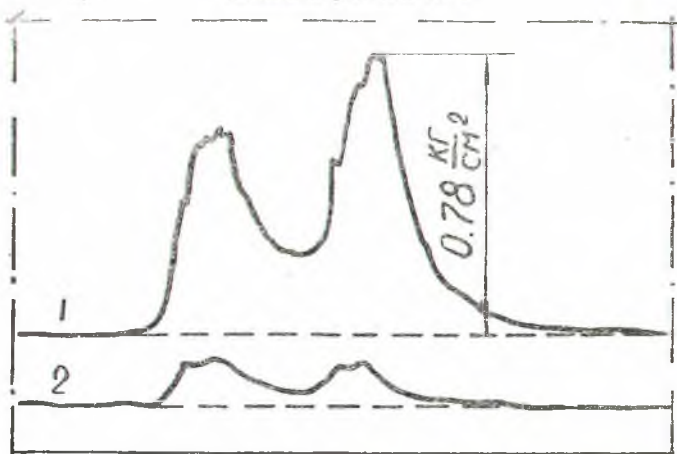


Рис. 1. а — осциллограммы нормальных и касательных напряжений, полученные с помощью мессдоз. Осциллограммы σ : 1 — на глубине $h=0,0$ см; 2 — на глубине $h=20,0$ см; 3 — на глубине $h=60,0$ см; 4 — на глубине $h=150,0$ см; осциллограммы τ : 5 — на глубине $h=20,0$ см; 6 — на глубине $0,0$ см. б — осциллограммы σ , полученные с помощью штырьевых датчиков. 1 — на глубине $h=12,0$ см; 2 — на глубине $100,0$ см, где h — расстояние от подошвы шпалы до точки измерения напряжения.

Наиболее нагруженным является подрельсовое сечение балластного слоя и земляного полотна по оси шпалы. С глубиной в теле земляного полотна вдоль шпального пролета нормальные напряжения постепенно выравниваются, хотя на глубине $h=150$ см от подошвы шпалы в подрельсовом сечении величина их сохраняется еще максимальной.

Величина нормальных напряжений по середине шпального пролета на основной площадке земляного полотна по сравнению с напряжениями по оси шпалы достигает сравнительно небольшой величины 0,100—0,115 кг/см² (наибольшее значение).

Распределение нормальных напряжений вдоль шпального пролета происходит по параболическому закону. Кривизна параболы с увеличением глубины h уменьшается, и кривая распределения σ стремится к прямой линии (рис. 2). Такое распределение нормальных напряжений дает основание полагать, что при определении нормальных напряжений на основной площадке земляного полотна влияние соседних шпал можно не учитывать.

Величина и характер распределения нормальных напряжений по глубине балластного слоя, слоя подбивки (для безбалластных дорог) и земляного полотна зависит от угла внутреннего трения φ балластных материалов, грунта подбивки и земляного полотна и удельного сцепления c . С увеличением угла внутреннего трения величина σ по глубине балласта и земляного полотна уменьшается. При увеличении c уменьшаются касательные напряжения. При плохо подбитых шпалах наблюдается рост нормальных и касательных напряжений (σ возрастают в 1,5 раза τ — в два раза).

Величина касательных напряжений зависит от уклона пути и достигает наибольшего значения по подошве шпалы. На безбалластных узкоколейных железных дорогах касательные напряжения при больших уклонах нередко превышают сопротивление грунта сдвигу, вследствие чего земляное полотно деформируется.

Наличие жесткого скального основания вызывает увеличение нормальных напряжений в рыхлом слое грунта, уменьшая его несущую способность.

В результате аппроксимации опытных данных установлено, что нормальные напряжения по глубине балластного слоя и земляного полотна (по оси шпалы), распределяются по закону гиперболы.

Для сыпучих грунтов и балластных материалов с внутрен-

$P_{oc} = 3.0m$

Рабочее место №1

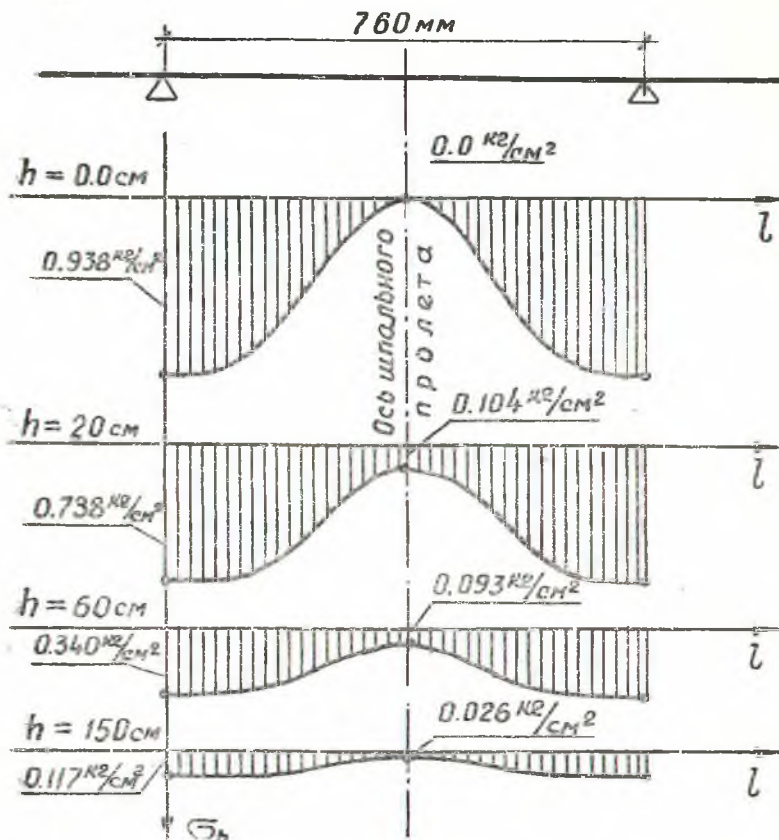


Рис. 2. Эпюры распределения нормальных напряжений вдоль шпального пролета,

ним трением $\varphi \neq 0$ и $c = 0$, эта зависимость выражается уравнением, полученным автором,

$$h = \frac{0,5v(\sigma_{\sigma} - \sigma_h)}{f \sigma_h}, \quad (2)$$

где v — ширина нижней постели шпалы, в см;

f — коэффициент внутреннего трения, $f = \text{tg} \varphi$;

σ_{σ} — нормальные напряжения по подошве шпалы в кг/см^2 ;

σ_h — нормальные напряжения по глубине балластного слоя или земляного полотна на расстоянии h от подошвы шпалы.

Для связных грунтов и балластных материалов с внутренним трением $\varphi \neq 0$ и сцеплением $c \neq 0$ зависимость (2) имеет вид

$$h = \frac{0,5\sigma (\sigma_{\sigma} - \sigma_h + m\sigma_h)}{f \sigma_h}, \quad (3)$$

где m — безразмерный коэффициент численно равный удельному сцеплению, т. е. $m = [c]$.

Глубина распространения касательных напряжений, при $\varphi \neq 0$ и $c = 0$ составляет

$$h = \frac{0,5\sigma \tau_{\sigma}}{f \tau_h}, \quad (4)$$

где τ_{σ} — касательные напряжения по подошве шпалы, в кг/см^2 ;

τ_h — касательные напряжения на глубине h от подошвы шпалы;

и при $\varphi \neq 0$ и $c \neq 0$

$$h = \frac{0,25\sigma [\tau_{\sigma} - \tau_h(1 + m)]}{f \tau_h}. \quad (5)$$

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Определение критической глубины залегания жесткого скального основания.

Относительная критическая глубина залегания жесткого скального основания $\beta_{кр}$, за пределами которой влияние жесткого основания на увеличение напряжений в грунтовом массиве не сказывается, определяется отношением

$$\beta_{кр} = \frac{h}{b}$$

где h — толщина рыхлого грунтового слоя, подстилаемого жестким скальным основанием;

b — полуширина нижней постели шпалы.

Задача определения $\beta_{кр}$ для всех видов лесовозных дорог решается на основании теории предельного равновесия сыпучей среды и сводится к решению основной системы уравнений вида

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0$$

при соблюдении условия предельного равновесия Кулона

$$|\tau_n| = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + c,$$

которое может быть выражено в составляющих напряжений

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = \sin^2 \varphi (\sigma_x + \sigma_y + 2c \operatorname{ctg} \varphi)^2.$$

По данным расчетов составлена таблица критической глубины для стандартных типов шпал узкоколейных железных дорог в относительной и абсолютных величинах.

Таблица

Углы внутрен. трения φ	Относит. критич. глубина $\beta_{кр} = \frac{h}{b}$	Абсолютная критическая глубина $h_{кр}(м)$ при ширине подошвы шпалы		
		2В=19,0 см	2В=21,0 см	2В=23,0 см
0°	12,60	1,20	1,32	1,45
10°	26,30	2,50	2,76	3,02
15°	32,30	3,07	3,39	3,71
30°	129,40	12,29	13,59	14,88
40°	645,00	61,28	67,28	74,18

Из таблицы следует, что значение $\beta_{кр}$ возрастает с увеличением угла внутреннего трения φ .

Влияние скального основания на повышение нормальных напряжений определяется высотой рыхлого грунтового слоя и углом внутреннего трения φ .

На горных склонах Украинских Карпат толщина рыхлого грунтового слоя колеблется в пределах от 0 до 15÷20 м. Так как углы внутреннего трения для рыхлого слоя грунта (щебневатые суглинки) чаще всего составляют 15÷30 градусов, то влияние скального основания при определении прочности основной площадки земляного полотна узкоколейных дорог следует учитывать при высоте грунтового слоя $h \leq 15$ м.

2. Расчет прочности основной площадки земляного полотна.

Как показали экспериментальные исследования, при распределении нормальных напряжений в балластном слое и земляном полотне, подстилаемом жестким скальным основанием, основными факторами, определяющими величину и характер напряжений, являются угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c .

На основании опытных данных распределения нормальных напряжений по глубине балластного слоя и земляного полотна автором предложены расчетные формулы для определения нормальной прочности основной площадки земляного полотна узкоколейных дорог с учетом влияния жесткости скального основания:

а) для балластных дорог при $\varphi \neq 0$ и $c = 0$

$$\sigma_{\text{нmax}} = \frac{\sigma_{\text{бmax}}}{1 + \frac{h}{0,5bf}} \leq R_3, \quad (6)$$

где $\sigma_{\text{бmax}}$ — максимальные нормальные напряжения по поперечному сечению шпалы, кг/см^2 ;

h — толщина балласта под шпалой, см ;

b — ширина нижней постели шпалы, см ;

$f = \text{tg}\varphi$ — коэффициент трения;

R_3 — расчетное сопротивление грунта сжатию кг/см^2 .

б) для безбалластных дорог с наличием слоя подбивки из местного грунта при $\varphi \neq 0$ и $c \neq 0$

$$\sigma_{\text{нmax}} = \frac{\sigma_{\text{бmax}}}{\left(1 + \frac{h}{0,5bf}\right)^{-m}} \leq R_3, \quad (7)$$

где m — безразмерный коэффициент, который численно равен $[c]$;

в) при двухслойной балластной призме (щебень, песок) или грунтовой среде при $\varphi \neq 0$ и $\varphi_1 \neq 0$; $c = c_1 = 0$

$$\sigma_{\text{нmax}} = \frac{\sigma_{\text{бmax}}}{1 + \frac{hf + h_1f_1}{0,5b}} \leq R_3, \quad (8)$$

где h и h_1 — соответственно толщины первого и второго слоя балластной призмы;

f, f_1 — коэффициенты трения этих слоев;
 г) для грунтовых двухслойных сред при $\varphi \neq 0, \varphi_1 \neq 0, c \neq 0$
 и $c_1 \neq 0$.

$$\sigma_{h\max} = \frac{\sigma_{6\max}}{\left(1 + \frac{hf + h_1 f_1}{0,5b}\right) - m'} \leq R_3, \quad (9)$$

где m' — безразмерный коэффициент равный $[c_{c.в.}]$.
 Здесь $c_{c.в.}$ — средневзвешенное значение удельного сцепления, вычисляемое по формуле

$$c_{c.в.} = \frac{ch + c_1 h_1}{h + h_1}$$

Касательные напряжения на основной площадке земляного полотна определяются по формулам:

а) для безбалластных дорог при $\varphi \neq 0$ и $c \neq 0$

$$\tau_h = \frac{\tau_\sigma}{1 + \frac{h}{0,25b} f + m} \leq R_{cp} \quad (10)$$

б) для дорог с наличием балластной призмы при $\varphi \neq 0$
 и $c = 0$

$$\tau_h = \frac{\tau_\sigma}{\frac{h}{0,5b} f}, \quad (11)$$

где τ_σ — касательные напряжения по подошве шпалы.

Приведенные формулы справедливы при скоростях движения 3,6—20 км/час.

На рис. 3 приведены эпюры распределения нормальных напряжений по глубине балластного слоя и земляного полотна, вычисленных по формулам (6—9), с нанесением опытных значений σ .

Для определения $\sigma_{h\max}$ при различных скоростях движения поездной нагрузки предлагается две формулы, полученные автором для узкоколейных железных дорог на основании экспериментальных зависимостей Г. Г. Кошнина при исследовании железных дорог нормальной колеи:

а) для балластных узкоколейных дорог,

$$\sigma_{h\max} = \sigma_{6\max} \cdot e^{-[(0,040 + 0,0000274v)h_{yi}]}, \quad (12)$$

б) для безбалластных узкоколейных дорог.

$$\sigma_{нmax} = \sigma_{бmax} \cdot e^{-[(0,012 + 0,0000274v)h_{yi}]} \quad (13)$$

3. Влияние скального основания на рост нормальных напряжений в земляном полотне балластных и безбалластных дорог.

Для доказательства увеличения напряжений на основной площадке и в земляном полотне при наличии жесткого скального основания нормальные напряжения определялись автором теоретически (без учета влияния жесткого скального основания) и сравнивались с экспериментальными данными и данными, полученными по формулам (6÷9).

Нормальные напряжения вычислены по дискретной теории распределения напряжений в зернистых грунтовых основаниях, разработанной И. И. Кандауровым.

Согласно этой теории вертикальные напряжения от полосовой равномерно распределенной нагрузки определяются в каждой точке грунтового массива от суммы нагрузок, распределенных по элементарным площадкам, т. е.:

$$\sigma_z = - \int_{-b}^{+b} f(\xi) \sqrt{\frac{1}{2v\pi z^2}} \exp\left[-\frac{1}{2vz^2}(x-\xi)^2\right] d\xi$$

При постоянной нагрузке $f(\xi) = p$ вышеприведенное уравнение для точек, находящихся на оси z при $x=0$, принимает вид

$$\sigma_{z0} = p\Phi\left(\frac{b}{z\sqrt{v}}\right)$$

Здесь $f(\xi)$ — функция, описывающая характер нагрузки;

ξ — переменная интегрирования;

$2b$ — ширина загруженной полосы;

v — коэффициент бокового давления (распора).

В результате вычислений нормальных напряжений в земляном полотне в подрельсовом сечении при мощности рыхлого грунтового слоя до 1,5 м установлено, что наличие жесткого скального основания способствует увеличению напряжений в земляном полотне.

Для безбалластных дорог увеличение σ в земляном полотне достигает 62,5% и на основной площадке земляного полотна — 27,8%.

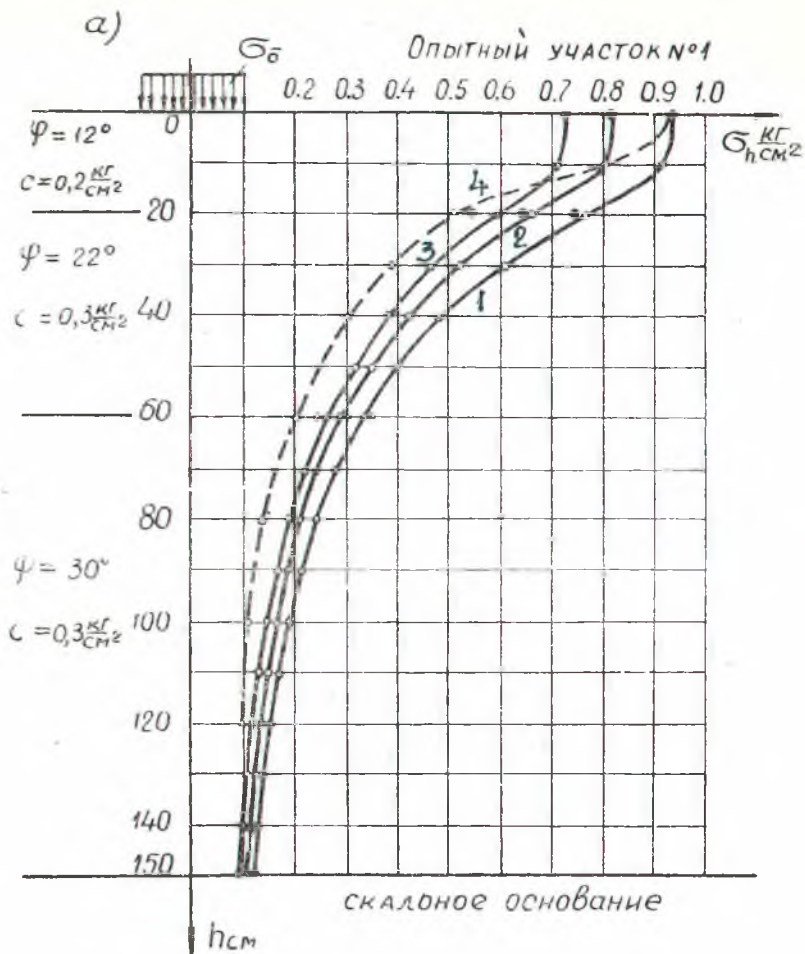
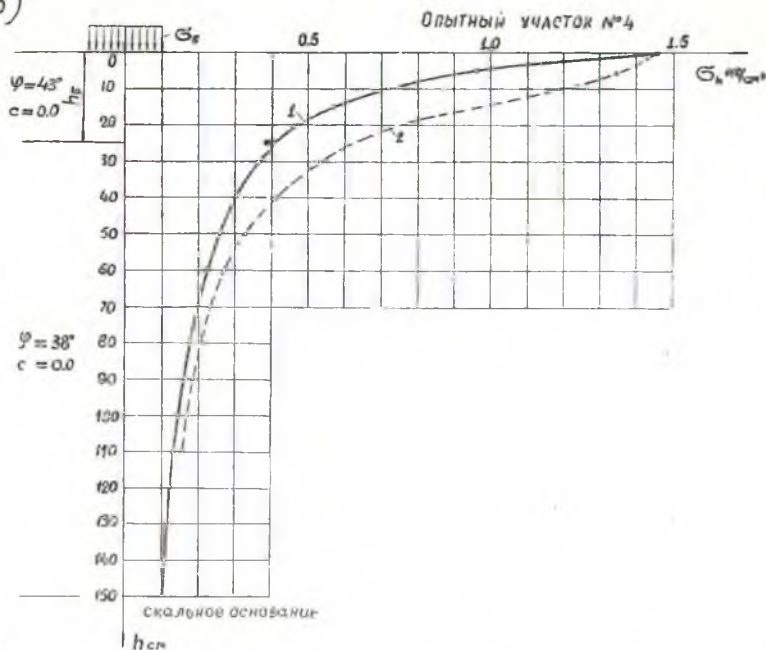
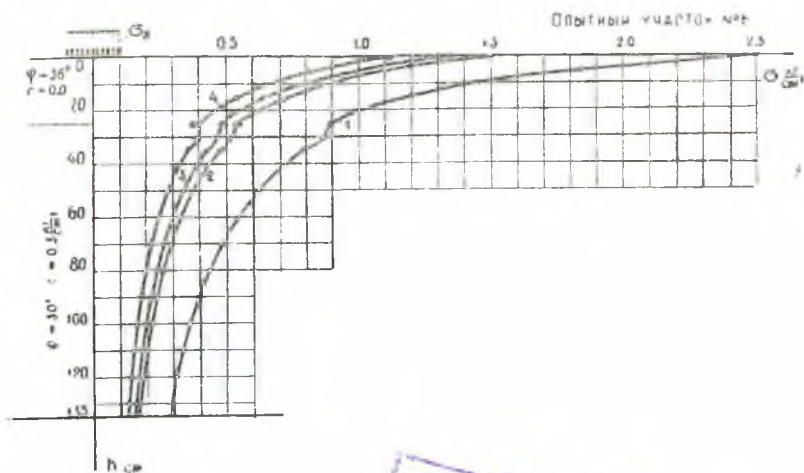


Рис. 3. Эпюры распределения нормальных напряжений по глубине слоя подбивки, балластного слоя и земляного полотна. а — для безбалластной ужд: 1 — при $P_{oc} = 3,0 \text{ т}$; 2 — при $P = 2,6 \text{ т}$; 3 — при $P_{oc} = 2,3 \text{ т}$; 4 — эпюра, построенная по Правилам производства расчетов узкоколейного пути при $P_{oc} = 3,0 \text{ т}$. б — для балластной ужд: 1 — при $P_{oc} = 4,0 \text{ т}$; 2 — эпюра, построенная по Правилам производства расчетов узкоколейного пути. в — для балластной ужд: 1 — при $P_{oc} = 6,5 \text{ т}$; 2 — при $P_{oc} = 4,0 \text{ т}$; 3 — при $P_{oc} = 3,7 \text{ т}$ и 4 — при $P_{oc} = 3,0 \text{ т}$.

б)



в)



БИБЛИОТЕКА БТИ
имени С. М. КИРОВА

2245р.

Для дорог с балластной призмой увеличение σ несколько меньше, вследствие распределения нагрузки балластным слоем на большую площадь, чем в однородном грунтовом массиве. Увеличение σ для балластных дорог на основной площадке земляного полотна в подрельсовом сечении достигает 21,6% и в земляном полотне 35,6%.

Для проверки достоверности предлагаемого метода расчета проведено сравнение σ , полученных по формулам (6 ÷ 9), с опытными данными и с величиной σ , полученных с помощью существующих методов расчета, основанных и на положениях предельного равновесия статики сыпучей среды и теории упругости (методы расчета В. В. Соколовского — С. С. Вялова, К. Е. Егорова и М. Н. Горбунова-Посадова).

Установлено, что наиболее простым и удобным для решения практических задач являются предлагаемые автором эмпирические формулы 6 ÷ 13). Величина σ , полученная по формулам (6 ÷ 13), с достаточной точностью подтверждается экспериментальными данными.

Метод теории предельного равновесия сыпучей среды отличается наибольшей точностью и универсальностью в сравнении с другими методами. Однако, вследствие трудоемкости вычислительных операций для решения практических задач применение этого метода затруднительно.

4. Теория продольной устойчивости земляного полотна горных лесовозных дорог.

Возможность потери продольной устойчивости земляного полотна при наличии подстилающего скального основания весьма реальна для горных лесовозных дорог, как железных, так и автомобильных. Однако это обстоятельство до настоящего времени не учитывалось при проектировании.

Практика показала, что на существующих лесовозных дорогах Украинских Карпат нередко наблюдаются сдвиги земляного полотна в продольном направлении, что в свою очередь вызывает деформации верхнего строения пути.

Существующие методы расчета устойчивости грунтового массива Р. Р. Чугаева, Маслова-Берера, Б. А. Пышкина, А. Б. Бунатяна и др. отличаются различными исходными данными, часто ограничены дополнительными условиями, либо исходные системы сил в них противоречат основным положениям механики.

Разнообразие существующих методов расчета устойчивости грунтового массива вызывает необходимость их анализа с целью выбора метода расчета продольной устойчивости земляного полотна лесовозных дорог, наиболее соответствующего горным условиям рельефа.

В практике проектирования земляного полотна железных дорог нормальной колеи нашел широкое применение метод определения коэффициента устойчивости грунтовых массивов, разработанный проф. Г. М. Шахуняцем. Этот метод рассматривает скольжение пород, слагающих склон, под действием различных сил по поверхности любой формы. Здесь учитывается и сопротивление пород сдвигу по поверхностям раздела отсеков, на которые условно разделяется оползающий грунтовый массив.

Определение коэффициента устойчивости по методу Г. М. Шахуняца можно производить по точной (а) и упрощенной (б) формулам:

$$\begin{aligned}
 \text{а) } K &= \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [f_i N_i + c_i l_i + T_{\text{ва}^{i-1}}] \frac{\cos \varphi_i}{\cos (\beta_i - \varphi_i)}}{\sum_{i=1}^{i=n} T_{\text{са}^{i-1}} \frac{\cos \varphi_i}{\cos (\beta_i - \varphi_i)}}, \\
 \text{б) } K &= \frac{\sum_{i=1}^{i=n} f_i N_i + c_i l_i + T_{\text{ya}^{i-1}}}{\sum_{i=1}^{i=n} T_{\text{ya}^{i-1}}}.
 \end{aligned} \tag{14}$$

Анализ результатов расчета показал, что наибольшее расхождение между величинами K , полученными по упрощенной и точной формулам, не превышает 2,0—2,5%. Наряду с аналитическим методом определения оползневое давления может быть применен также графо — аналитический метод проф. Г. М. Шахуняца, основанный на графическом построении многоугольников сил. Этот метод нагляден и дает возможность определить потерю устойчивости для отдельных отсеков в общем массиве обрушения и наметить правильную расстановку поддерживающих инженерных сооружений.

Определение коэффициента устойчивости при наличии гидродинамического давления производится с помощью выражения

$$K_z = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [f_i N_i + c_i l_i + T_{уд-i} + T_{(уд-i)r}] \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\beta_i - \varphi_i)}}{\sum_{i=1}^{i=n} [T_{сд-i} + T_{(сд-i)r}] \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\beta_i - \varphi_i)}} \quad (15)$$

полученного автором как для частного случая, вытекающего из исследований проф. Г. М. Шахуняца и Н. М. Герсванова. Из общего условия устойчивости земляного полотна для

$$K = \frac{\int_{x_0}^{x_n} \left(\frac{h \operatorname{tg} \varphi}{V \sqrt{1 + \kappa_1^2}} + \frac{c}{\gamma} \sqrt{1 + \kappa_1^2} \right) dx}{\int_{x_0}^{x_n} \frac{h \kappa_1 dx}{V \sqrt{1 + \kappa_1^2}}}$$

получено значение предельного уклона i_{np} , при котором обеспечивается продольная устойчивость земляного полотна и надежность его эксплуатации.

$$i_{np} \leq \operatorname{tg} \alpha + \frac{1}{0,5b} \left[\frac{c}{(\sin \alpha - f \cos \alpha) \gamma \cos \alpha} - h_1 \right] \quad [16]$$

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Анализ экспериментальных и теоретических исследований земляного полотна горных лесовозных дорог позволяет утверждать, что специфические особенности, значительно отличающие их от лесовозных дорог равнинных условий, должны обязательно учитываться при проектировании. Особенно большое влияние на нормальную прочность и продольную устойчивость земляного полотна горных лесовозных дорог оказывает наличие жесткого скального основания.

При этом мощность рыхлого грунтового слоя по трассам существующих лесовозных дорог весьма невелика и колеблется в пределах от 1,0—2,5 м. На канатно-рельсовых дорогах мощность рыхлого слоя грунта нередко снижается до 0,3÷0,5 м. У подошвы горных склонов и в речных долинах мощность грунтового слоя увеличивается и достигает 4—5 м

более метров. Несущая способность земляного полотна при снижении толщины рыхлого слоя уменьшается.

Несущая способность выемок и полувыемок понижается вследствие большого содержания влаги в верхних слоях грунта, при этом уменьшается угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c , и как следствие уменьшается продольная и поперечная устойчивости земляного полотна.

Нормальные и касательные напряжения в балластном слое и земляном полотне зависят от размеров нижней постели шпалы и физико-механических характеристик балласта и грунта земляного полотна. С увеличением угла внутреннего трения φ нормальные напряжения уменьшаются. С увеличением удельного сцепления c уменьшаются касательные напряжения.

Наиболее нагруженным является подрельсовое сечение балластного слоя и земляного полотна по оси шпалы. Нормальные напряжения по середине шпалы (оси пути) при $h=0$ для безбалластных дорог составляют 45% от нормальных напряжений в подрельсовом сечении.

Рост нормальных и касательных напряжений наблюдается при плохо подобранных шпалах. Поездная нагрузка на балласт в этом случае передается через шпалу мгновенно.

Эксперименты показали, что в этом случае нормальные напряжения возрастают в 1,5 раза, касательные — в 2 раза.

При плохо подобранных шпалах даже на горизонтальных участках пути наблюдается рост сдвигающих напряжений по подошве шпалы до $0,4 \text{ кг/см}^2$ (наибольшее опытное значение).

Величина касательных напряжений в большой степени зависит от уклона пути и достигает наибольшего значения по подошве шпалы. Для безбалластных узкоколейных дорог касательные напряжения нередко превышают сопротивление грунта сдвигу, вследствие чего земляное полотно деформируется.

Наличие жесткого скального основания влияет на увеличение нормальных напряжений в рыхлом слое грунта, уменьшая его несущую способность (особенно для безбалластных узкоколейных дорог).

Наличие балластной призмы уменьшает влияние жесткого основания.

Влияние скального основания на увеличение нормальных напряжений определяется высотой рыхлого грунтового слоя и величиной угла внутреннего трения грунта φ . Для безбалластных узкоколейных железных дорог увеличение нормаль-

ных напряжений на основной площадке земляного полотна достигает 27,8%, для балластных дорог — 21,6%.

Критическая глубина залегания скального основания, влияющего на увеличение нормальных напряжений в земляном полотне, зависит только от угла внутреннего трения рыхлаго слоя грунта φ , который колеблется в пределах 15-30 градусов. Критическая глубина залегания скального основания при этом составляет соответственно 3—15 м.

Рекомендации по учету перечисленных выше особенностей горных лесовозных дорог при проектировании сводятся к следующему.

1. Толщина балластного слоя под шпалой должна приниматься в зависимости от максимальной величины нормальных напряжений по подошве шпалы σ_{max} , угла внутреннего трения балластного материала φ и расчетного сопротивления основной площадки земляного полотна R_3 . Прочность основной площадки земляного полотна обеспечивается при условии

$$\sigma_{\text{max}} \leq R_3.$$

При изысканиях трасс лесовозных дорог и их грунтово-геологическом обследовании следует уделять большее внимание установлению величины R_3 , определяющей в основном толщину балласта под шпалой.

2. Для определения нормальных и касательных напряжений на основной площадке земляного полотна горных угод Карпат при щебеночном балластном слое могут быть рекомендованы формулы (6, 8, 11 и 12).

Для безбалластных узкоколейных железных дорог при определении прочности основной площадки земляного полотна по нормальным и касательным напряжениям рекомендуются формулы (7, 9, 10 и 13).

3. Увеличение продольной устойчивости верхнего строения пути и верхней части земляного полотна на канатно-рельсовых спусках с уклонами более 100 тысячных обеспечивается устройством балластной призмы. Толщина балласта под шпалой должна быть при этом не менее 10 см.

4. Для определения продольной и поперечной устойчивости грунтовых массивов при проектировании земляного полотна рекомендуются аналитический и графо-аналитический методы профессора Г. М. Шахунянца. Для определения коэффициента устойчивости рекомендуется формула (14).

5. При наличии гидродинамического давления коэффици-

ент устойчивости земляного полотна рекомендуется определять по формуле (15).

6. Для предварительного назначения предельных уклонов продольного профиля земляного полотна горных лесовозных дорог при составлении проектного задания рекомендуется формула (16).

В заключение следует отметить, что настоящая работа является первой попыткой экспериментально исследовать напряженное состояние земляного полотна горных лесовозных дорог и разработать практические рекомендации по расчету его продольной устойчивости.

Экспериментальные исследования, проведенные в производственных условиях, позволили привести существующие методы расчета в соответствие с действительными условиями работы земляного полотна горных лесовозных дорог.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Якимович Р. Л., Некоторые результаты экспериментальных исследований напряженного состояния земляного полотна ужд на горных склонах, XV научная конференция ЛЛТИ (тезисы к докладам), Львов, 1963.

2. Якимович Р. Л., Анализ существующих методов расчета устойчивости основной площадки земляного полотна лесовозных узкоколейных железных дорог, XVI научная конференция ЛЛТИ (тезисы к докладам), изд-во Львовского университета, 1964.

3. Якимович Р. Л., Экспериментальные исследования напряженного состояния основной площадки земляного полотна горных лесовозных железных дорог, Сб. «Лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность», вып. 5, Киев, изд-во «Будівельник», 1969.

4. Якимович Р. Л., К определению нормальных напряжений в земляном полотне горных лесовозных дорог, Сб. «Лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность», вып. 5, Киев, изд-во «Будівельник», 1969.

5. Якимович Р. Л., Дослідження нормальної міцності основної площини земляного полотна гірських лісовозних залізниць. Зб. «Використання лісових багатств», вид-во «Карпати», Ужгород, 1969 (принята к печати).

6. Якимович Р. Л., Устойчивость земляного полотна горных лесовозных дорог с учетом гидродинамического давления, Сб. «Лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность», вып. 6, Киев, изд-во «Будівельник», 1969 (принята к печати).

7. Якимович Р. Л., До визначення граничного позадвожнього уклону i_{2p} земляного полотна гірських лісовозних взд при плоских лінійях ковзання, Зб. «Використання лісових багатств», вид-во «Карпати», Ужгород, 1969 (принята к печати).

БГ 08627. Зак. 1085. Тираж 200. Подписано к печати 21-XI-69 г.
Формат бумаги 60×84/16. Печ. листов 1,5. Бесплатно.

Учебно-производственные мастерские Львовского полиграфтехникума.
г. Львов, Советская, 12.