

УДК 624.139:625.731

В. С. МОРОЗОВ

Морозов Владимир Станиславович родился в 1955 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики и сопротивления материалов Архангельского государственного технического университета. Имеет более 20 печатных работ в области строительства и эксплуатации зимних лесовозных дорог.



ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАСЧЕТА ТОЛЩИНЫ МНОГОСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ ИЗ МЕРЗЛОГО ТОРФА

Изложены основные предпосылки для определения толщины дорожной одежды автомобильных дорог на болотах из слоя мерзлого торфа. Приведены основные расчетные выражения для расчета многослойных конструкций.

The main prerequisites for determining thickness of highways pavement are set forward for bogs of frozen peat layer. The main design expressions are given to calculate the multilayer constructions.

Расчет толщины многослойного основания зимних автомобильных дорог необходим при обосновании рекомендаций по организации их строительства на болотах и заболоченных участках. Методика такого расчета изложена в работе [5].

Обычные методы подготовки и расчета оснований дорог на минеральных грунтах [8] в данном случае непригодны, так как мерзлый торф обладает специфическими физико-механическими свойствами. В литературе [1, 3, 7] приведены некоторые данные о свойствах мерзлого торфа и расчеты минимальной толщины дорожной одежды, обеспечивающей движение автотранспорта с заданными осевыми нагрузками. Однако они требуют уточнения.

В нашей статье изложены материалы лабораторных и полевых исследований физико-механических свойств мерзлого торфа, его прочностных и температурных характеристик, а также способы аналитического расчета толщины дорожной одежды.

Исследования в лабораторных условиях выполнены на образцах мерзлого торфа цилиндрической формы в морозильной камере. Методика опытов приведена в работе [4].

В опытах с помощью прибора одноосного сжатия определяли реологические свойства мерзлого торфа и по ним строили кривые ползучести. В результате обработки кривых были найдены математические зависимости между напряжениями и деформациями при различных значениях времени действия нагрузки t , минусовой температуре торфа Θ и его влажности W .

В общем виде связь между напряжениями и деформациями для мерзлого торфа имеет вид

$$\varepsilon = B \sigma^n, \quad (1)$$

где ε – относительная деформация торфа;

σ – напряжение, МПа;

B – коэффициент пластичности и ползучести,

$$B = 16,6281 + 0,03162 t - 0,2525 W + 0,2020\Theta;$$

n – степенной коэффициент,

$$n = 0,3129 + 0,000617 t - 0,00042 W + 0,01697 \Theta.$$

При вычислении значения ε по формуле (1) время t имеет размерность – ч, относительная влажность W – %, температура Θ – °С.

По уравнению (1) с помощью метода наименьших квадратов в интегральной форме [2] получено выражение для определения модуля упругости (E) мерзлого торфа:

$$E = \frac{3n}{B(1+2n)} \sigma^{1-n}. \quad (2)$$

Зная t , W и Θ , по формуле (2) можно вычислить требуемое значение E , по которому из условия прочности ($\sigma_{adm} = 0,75$ МПа) далее определить требуемую толщину слоя мерзлого торфа, обеспечивающую движение автопоездов с заданной осевой нагрузкой.

При исследованиях в полевых условиях были найдены закономерности температурно-напряженного состояния слоя мерзлого торфа по его толщине. Результаты опытов приведены на рис.1. Они показывают, что для определения толщины дорожной одежды на болотах необходимо учитывать зависимость модуля упругости торфа от его отрицательной температуры, которая имеет максимальное значение на поверхности дороги и убывает по глубине до нуля.

Очевидно, что под толщиной дорожной одежды из слоя мерзлого торфа следует принимать ту его часть, в которой температура отрицательна, т. е. изменяется от минусовой на поверхности до нуля на глубине промерзания.

Данные на рис. 1 показывают, что любая механическая обработка поверхности болота (расчистка от снега, проминка, уплотнение, устройство насыпи и т. д.) приводит к увеличению глубины промерзания торфа, т. е. его прочности.

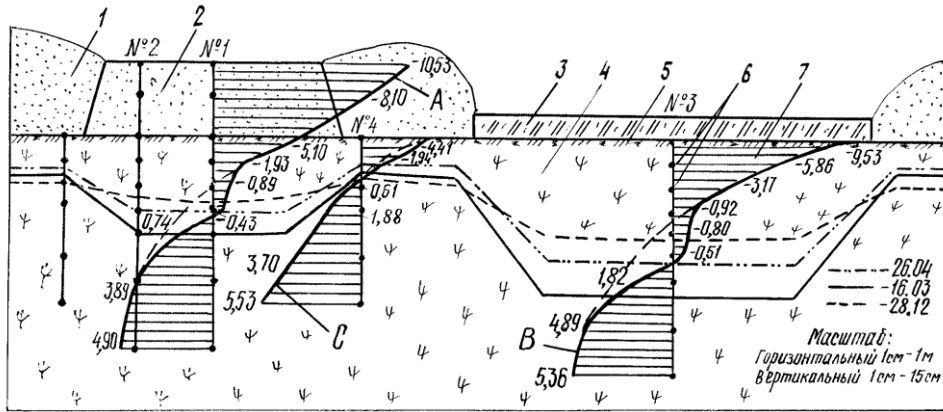


Рис. 1. Поперечное сечение двух опытных участков Угзеньской зимней дороги: А, В, С – кривые распределения средних температур по глубине массива; 1 – снежный покров; 2 – песчаная насыпь; 3 – снеголед; 4 – талый торф; 5 – мерзлый торф; 6 – термоматчики; 7 – эпюры промерзания грунта

Аналитический расчет толщины дорожной одежды основан на следующих предпосылках:

при кратковременных нагрузках (автопоезд) допустимо рассматривать мерзлый торф как упругое тело и применять для расчета зимних дорог на прочность методы теории упругости и сопротивления материалов;

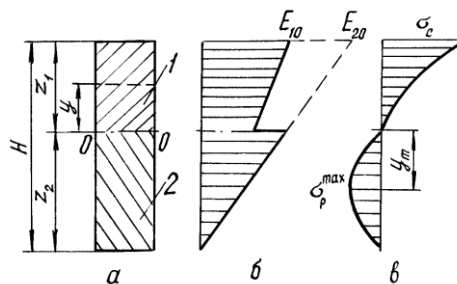
связь между напряжениями в слое мерзлого торфа и его деформациями линейна, однако механические характеристики торфа, прежде всего модуль упругости и предел прочности, зависят от отрицательной его температуры;

мерзлый торф относится к анизотропным телам и имеет различные характеристики при растяжении и сжатии;

конструкция зимней дороги на болоте является, как правило, многослойной (минимум однослойной), и отдельные слои имеют различные механические характеристики;

расчет требуемой толщины дорожной одежды зимних дорог на прочность ведут по допускаемым напряжениям, проездная способность дороги оценивается в наиболее неблагоприятных условиях ее эксплуатации.

Рис. 2. Расчетная схема для слоя мерзлого торфа: а – схема поперечного сечения; б – эпюра модулей упругости; в – эпюра напряжений; 1 – слой сжатия; 2 – слой растяжения



Поскольку модуль упругости торфа и его температура изменяются по толщине слоя мерзлого торфа, уменьшаясь сверху вниз, то для однослойной дорожной одежды (рис. 2, а) имеем следующие зависимости [5]: для определения закономерности изменения модуля упругости по слоям сжатия и растяжения (рис. 2, б)

$$E_1 = \frac{E_{10}}{H}(z_1 + y); \quad E_2 = \frac{E_{20}}{H}(z_2 + y), \quad (3)$$

где E_{10} , E_{20} – расчетные модули упругости на поверхности дороги;

z_1 , z_2 – толщина слоев сжатия и растяжения;

H – толщина дорожной одежды;

y – расстояние от нейтрального слоя до рассматриваемого. В зоне сжатия $y > 0$, в зоне растяжения $y < 0$;

для определения положения нейтрального слоя при изгибе находим сначала вспомогательную величину $\nu = z_1 / H$ по формуле

$$\nu = \sqrt{\frac{E_{20}(1-\nu)^3}{E_{10}(3-\nu)}}, \quad (4)$$

затем, зная H , можно вычислить z_1 и z_2 .

Эквивалентный модуль упругости для всего слоя мерзлого торфа вычисляют по выражению

$$E_{\nu} = E_{10}\nu^3(4-\nu) + E_{20}(1-\nu)^4. \quad (5)$$

Далее рассчитываем слой мерзлого торфа как некоторую плиту, лежащую на упругом полупространстве. Модуль упругости плиты равен эквивалентному модулю упругости этого слоя. Можно также рассматривать слой мерзлого торфа как плиту, лежащую на линейно-деформируемом основании, характеризуемом коэффициентом постели C .

При определении толщины дорожной одежды сначала находим напряжения мерзлого торфа в слоях сжатия и растяжения по формулам (рис. 2, в)

$$\sigma_1 = \frac{E_{10}M}{E_{\nu}IH}(z_1y + y^2); \quad \sigma_2 = \frac{E_{20}M}{E_{\nu}IH}(z_2y + y^2) \quad (6)$$

и максимальные нормальные напряжения в слое растяжения

$$\sigma_{2\max} = -\frac{E_{20}MH}{4E_{\nu}I}(1-\nu)^2, \quad (7)$$

где M – изгибающий момент внутренних сил в данном поперечном сечении.

Прогибы плиты в продольном направлении выражали по формуле изгиба бруса, лежащего на линейном основании с коэффициентом постели C [4]:

$$\vartheta = k \sum P_i e^{-k\xi_i} (\cos k\xi_i + \sin k\xi_i), \quad (8)$$

где ϑ – поперечный прогиб;

P_i – сосредоточенные силы на поверхности дороги от осей автопоезда;

ξ – координаты точек приложения силы по оси, направленной вдоль плиты;

k – коэффициент относительной жесткости основания и плиты,

$$k = \sqrt[4]{E_3 H^3 / 0,03 C \alpha}; \quad (9)$$

α – коэффициент поперечного изгиба плиты;

C – коэффициент постели.

Введение в формулу (9) коэффициента α позволяет перейти от двух-осной задачи к трехосной, т. е. к рассмотрению плиты.

По формулам (6) – (9) можно получить выражение для определения нормальных напряжений в любом слое мерзлого торфа на расстоянии y от нейтральной оси:

$$\sigma = \frac{0,3(1 - \mu^2) E_p (z_2 y + y^2) \sum P_i e^{-k \xi_i} (\cos k \xi_i - \sin k \xi_i)}{k E_3 B H^4}, \quad (10)$$

где μ – коэффициент Пуассона;

E_p – расчетный модуль упругости для отдельных слоев, определяемый по формулам (6) .

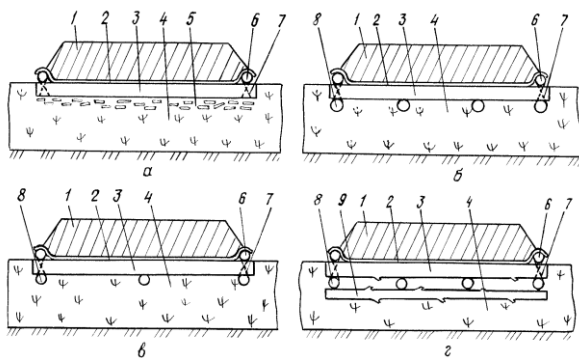
С учетом принятых выше предпосылок расчетная схема представляет собой плиту неограниченной длины, лежащую на линейно деформируемом основании с коэффициентом постели C . Поперечное сечение плиты – прямоугольник, состоящий из нескольких слоев с различными механическими свойствами. Для принятой расчетной модели дифференциальное уравнение изгиба примет вид

$$D \frac{\partial^4 \vartheta}{\partial y^4} + k^4 \vartheta = 0, \quad (11)$$

где $D = E_3 h^3 / 12(1 - \mu^2)$ – цилиндрическая жесткость.

В результате выполненных расчетов получены значения толщины одно-, двух- и четырехслойной дорожных одежд, схемы которых приведены на рис. 3.

Рис. 3. Типы конструкций участков Угзеньгской зимней автомобильной дороги: 1 – песчаная насыпь; 2 – отработанные сукна и сетки (ОСС); 3 – поперечный настил из бревен; 4 – торф; 5 – отходы нижнего склада (щепа, кора и др.); 6 – продольные лаги; 7 – обвязка; 8 – нижние продольные лаги; 9 – прореженный поперечный настил



В, м	$\theta, ^\circ\text{C}$	$H, \text{ см, при } C, \text{ Н/см}^3$			$\vartheta, \text{ см, при } C, \text{ Н/см}^3$		
		1	3	5	1	3	5
900	-1	23,4	25,9	37,1	1,50	2,06	3,73
	-5	22,5	25,0	30,6	1,50	2,04	3,70
	-10	19,5	21,6	26,6	1,56	2,13	3,92
700	-1	30,0	32,5	37,5	1,93	2,41	3,78
	-5	29,1	37,2	36,2	1,90	2,39	3,72
	-10	25,2	27,2	31,6	2,03	2,54	3,99
500	-1	36,1	38,8	43,4	1,69	2,11	3,19
	-5	34,7	37,5	42,8	1,68	2,08	3,15
	-10	30,2	32,5	37,3	1,79	2,23	3,36
300	-1	48,1	51,2	60,0	1,44	1,77	2,85
	-5	60,0	49,4	58,1	2,85	1,76	2,82
	-10	40,3	43,1	50,3	1,53	1,87	2,97

Результаты расчета однослойной дорожной одежды зимней дороги на болоте приведены в таблице.

В предложенной нами математической модели расчета напряженно-деформированного состояния различных конструкций зимних дорог на болотах более полно, чем у других авторов, учтены особенности их работы в реальных условиях. Данные таблицы совпадают с результатами, полученными при расчете тонкой плиты методами теории упругости. Следовательно, предложенная математическая модель хорошо учитывает основные физические особенности задачи по изгибу тонкой плиты из мерзлого торфа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Амарян Л.С. Прочность и деформируемость торфяных грунтов. - М.: Недра, 1969. - 192 с. [2]. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные уравнения. - М.: Наука, 1967. - 368 с. [3]. Каган Г.Л. Расчет несущей способности промороженного торфяного покрова//Нефтепромысловое строительство. - 1972. - № 7.- С. 8-11. [4]. Микеладзе Ш.Е. Некоторые задачи строительной механики. - М.; Л.: Огиз – Гостехиздат, 1948. - 268 с. [5]. Морозов В.С. Основания и разработка оптимальных конструкций и технологии строительства зимних лесовозных дорог на болотах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - СПб.: СПб ЛТА, 1992. - 20 с. [6]. Павлов Ф.А. К вопросу о распределении нормальных вертикальных напряжений в снежно-ледяном покрытии // Лесн. журн. - 1964. - № 6. - С. 84 - 88. - (Изв. высш. учеб. заведений). [7]. Роман Л.Т. Физико-механические свойства мерзлых торфяных грунтов. - Новосибирск: Наука, 1981. - 136 с. [8]. Савко Н.Ф. Расчет и конструирование зимних автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1969. - 128 с.

Поступила 19 июня 1998 г.