

УДК 625.711.84 + 625.31

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 40 печатных работ в области строительства и эксплуатации зимних лесовозных дорог.



К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ТОЛЩИНЫ ЗИМНИХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ НА БОЛОТАХ

Дано обоснование расчетной схемы и ее математической модели для определения толщины зимних лесовозных дорог на болотах.

зимние дороги, болота, толщина, модуль упругости, напряжения.

В настоящей статье дается обоснование расчетной схемы для определения толщины зимних лесовозных дорог на болотах и методика ее определения в разных условиях. Такая задача неоднократно исследовалась нами ранее [3–7, 9], но она требует уточнения.

Несущий слой мерзлого торфа можно рассматривать как тонкую плиту, лежащую на основании из талого торфа меньшей прочности. Эта предпосылка была выдвинута в работах [1, 10 и др.], однако подтверждалась в основном умозрительными рассуждениями. Нами накоплен достаточный аналитический и расчетный материал, который позволяет дать количественное подтверждение.

Напряженно-деформированное состояние дорожной одежды из мерзлого торфа исследовано нами двумя способами: методом конечных элементов и с помощью формул продольно-поперечного изгиба балок бесконечно большой длины, лежащих на линейно-деформируемом основании [2].

Метод конечных элементов подробно рассмотрен в работе [5]. Из материалов, полученных при обработке данных расчета, наибольший интерес представляет график распределения нормальных напряжений по толщине мерзлого торфа (рис. 1). Изменяется не только их значение, но и знак, что имеет место при изгибе плит или балок.

Этот результат является весьма существенным, так как при расчете по методу ко-

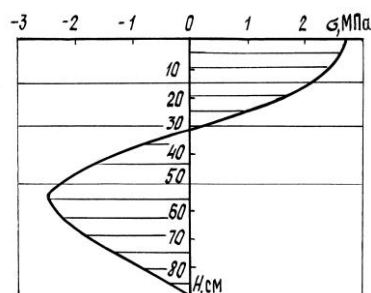
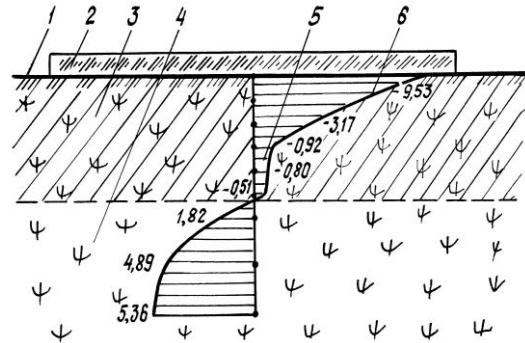


Рис. 1. График распределения нормальных напряжений σ по толщине мерзлого торфа H

Рис 2. Экспериментальные данные распределения температур по толщине основания зимней дороги: 1 – поверхность болота; 2 – слой снегольда; 3 – мерзлый торф; 4 – талый торф; 5 – зона фазовых переходов; 6 – график распределения температур по толщине основания



нечных элементов не задаются какими-либо предпосылками по виду расчетной схемы. Известно только, как модули упругости мерзлого и талого торфа распределяются по толщине болота в соответствии с графиком изменения температуры, наподобие экспериментального графика, приведенного на рис. 2.

Рис. 1 показывает, что в крайних нижних волокнах плиты из мерзлого торфа напряжения равны нулю, т. е. модуль упругости в этих волокнах мало отличается от модуля упругости талого торфа. Напряжения равны нулю также на границе между зонами сжатия и растяжения. Следовательно, через нее проходит нейтральная плоскость.

Наконец, в соответствии с теорией изгиба балок и плит, лежащих на линейно-упругом основании, в зонах сжатия и растяжения нормальные напряжения в некоторых волокнах максимальны. Из графика на рис. 1 видно, что максимум растягивающих напряжений σ_{\max} приходится на волокна, расположенные между нейтральной плоскостью и основанием из талого торфа. Значение σ_{\max} используют при определении прочности мерзлого торфа и требуемой толщины слоя мерзлого торфа для пропуска по дороге автомобиля заданной нагрузки.

Таким образом, предпосылка о том, что слой мерзлого торфа можно рассматривать как плиту, лежащую на линейно-деформированном основании, подтверждается результатами расчета основания по методу конечных элементов. Она подтверждается также данными экспериментов по измерению напряжений на действующих дорогах с помощью грунтовых динамометров [8].

При расчете на прочность лесовозной автомобильной дороги при нагрузке ее лесовозным автопоездом с прицепом-ропуском за расчетную можно принять нагрузку от прицепа. Колеса автомобиля находятся достаточно далеко от прицепа и на нагрузку от него практически не влияют (рис. 3). Это обстоятельство облегчает расчет дорожной одежды и не влияет на ее прочность.

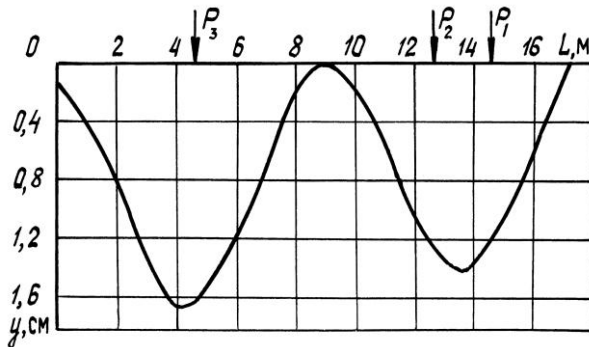


Рис. 3. Кривая продольных прогибов y : P_1, P_2 – нагрузка от осей автомобиля; P_3 – нагрузка от прицепа-ропуска

Рассмотрим результаты расчета зимней дорожной одежды, используя теорию изгиба балок и плит бесконечно большой длины, лежащих на линейно-деформированном основании.

Первая особенность плиты из мерзлого торфа заключается в том, что (в отличие от обычных строительных конструкций) ее температура изменяется по толщине (рис. 4), имея обычно максимальное отрицательное значение на поверхности дороги и понижаясь до нуля на некоторой глубине, являющейся границей мерзлой и талой зон торфа. Пропорционально температуре изменяется и модуль упругости мерзлого торфа E . Его значение наибольшее на поверхности дороги и постепенно уменьшается по толщине. На границе между мерзлым и талым торфом он равен модулю упругости талого торфа, который весьма мал по сравнению с модулем мерзлого торфа на поверхности дороги. Поэтому можно принять, что при $\Theta = 0$ и $E = 0$, а между максимальными и минимальными значениями он изменяется по линейному закону.

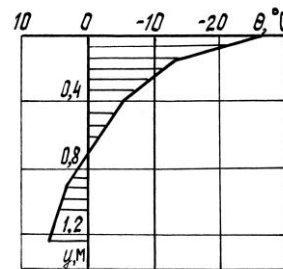


Рис. 4. График изменения температуры по глубине грунтового массива

Вторая особенность расчета такой плиты состоит в том, что модули упругости мерзлого торфа в сжатой и растянутой зонах различны, т. е. торф относится к разномодульным телам.

Для того чтобы при расчете дорожной одежды из мерзлого торфа можно было использовать методы строительной механики, необходимо найти эквивалентный модуль упругости слоя мерзлого торфа.

На рис. 5 приведено условное поперечное сечение дорожной одежды (а), графики модулей упругости (б) и график изменения нормальных напряжений σ_c по толщине (в). Здесь обозначено: H – толщина дорожной одежды; B – ее ширина; z_1, z_2 – координаты, определяющие положение нейтральной



Рис. 5. Расчетные схемы: *a* – условное поперечное сечение; *б* – графики модулей упругости; *в* – эпюра нормальных напряжений; 1 – зона сжатия; 2 – зона растяжения; 3 – основание из талого торфа; 0-0 – нейтральная плоскость

плоскости; E_{10} , E_{20} – модули упругости мерзлого торфа на поверхности проезжей части соответственно на сжатие и растяжение.

Рассматривая схему на рис. 5, *б*, нетрудно составить выражения для определения модуля упругости в любом слое дорожной одежды, расположенном на расстоянии y от нейтральной плоскости:

для участка сжатия

$$E_1 = \frac{E_{10}}{H}(z_2 + y);$$

для участка растяжения

$$E_2 = \frac{E_{20}}{H}(z_2 - y).$$

Напряжения в зонах сжатия и растяжения изменяются по квадратичному закону:

$$\sigma_1 = \frac{E_1}{\rho} y = \frac{E_{10}}{H\rho}(z_2 y + y^2); \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{E_2}{\rho} y = \frac{E_{20}}{H\rho}(z_2 y - y^2), \quad (2)$$

где ρ – радиус кривизны плиты в рассматриваемом поперечном сечении.

Положение нейтральной плоскости, т. е. координату z_1 , находим из условия равенства нулю суммы сжимающих F_1 и растягивающих F_2 сил, действующих в зонах сжатия и растяжения:

$$F_1 = B \int_{z_2}^{z_1} \sigma_1 dy = \frac{BE_{10}}{6H\rho}(3H - z_1)z_1^2;$$

$$F_2 = -B \int_0^{z_2} \sigma_2 dy = -\frac{BE_{20}}{6H\rho}(H - z_1)^3.$$

Используя условие $F_1 + F_2 = 0$, получаем выражение

$$E_{10}z_1^2(3H - z_1) - E_{20}(H - z_1)^3 = 0. \quad (3)$$

Вводим безразмерную величину $\nu = z_1/H$ и приводим уравнение (3) к виду

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

Решая уравнение (4) методом итераций, находим значение v , затем z_1 . Далее с помощью уравнений (1) и (2) можно построить эпюры напряжений для любого поперечного сечения с радиусом кривизны ρ . Такая эпюра показана на рис.5, в. Они качественно совпадают с эпюрой, приведенной на рис. 1.

Совпадение эпюр напряжений показывает, что схема на рис. 5, а объективна и реально отражает сущность рассматриваемого физического процесса.

Используя схему на рис. 5 и уравнения (1) и (2), можно получить выражения для определения эквивалентного модуля упругости E_3 дорожной одежды из слоя мерзлого торфа

$$E_3 = E_{10}v^3(4-v) + E_{20}(1-v)^4 \quad (5)$$

и уравнения для определения минимальной толщины слоя мерзлого торфа для пропуска по дороге заданной внешней нагрузки от автопоезда:

$$H_{\min} = \left[\frac{0,075(1-\mu^2)(1-v)^2 E_{20} P_3}{[\sigma_2] B (0,3\alpha C E_3^3)^{0,25}} \right]^{0,8}, \quad (6)$$

где H_{\min} – минимальная толщина дорожной одежды, см;
 μ – коэффициент Пуассона;
 E_{20} – модуль упругости мерзлого торфа на растяжение, МПа;
 P_3 – максимальная заданная нагрузка от автопоезда, кН;
 $[\sigma_2]$ – допускаемое напряжение, МПа;
 B – ширина дороги, см;
 α – коэффициент поперечного изгиба;
 C – коэффициент постели, Н/см³;
 E_3 – эквивалентный модуль упругости, МПа;
 0,075; 0,3 – множители, необходимые для выравнивания размерности величин, входящих в уравнение (6).

Система уравнений (4) – (6) дает полное решение задачи по расчету дорожной одежды из мерзлого торфа. Эту систему можно рассматривать как математическую модель для исследования процесса напряженно-деформированного состояния дорожной одежды из мерзлого торфа.

Как и всякая математическая модель, она требует уточнения при сравнении с физической моделью и физическим процессом продольно-поперечного изгиба зимней дорожной одежды на болотах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вялов С.С. и др. Строительство промышленных сооружений на мерзлом торфе / С. С. Вялов, Г. Л. Каган, А. Н. Воевода, В. И. Муравленко. – М.: Недра, 1980. – 144 с.

2. Микеладзе Ш.Е. Некоторые задачи строительной механики. – М.: ОГИЗ, 1948. – 268 с.
3. Морозов В.С. О расчете на прочность оснований зимних автомобильных дорог на болотах // Лесн. журн. – 1990. – № 3. – С. 52–57. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Морозов В.С. Об оценке напряженного состояния оснований зимних дорог на болотах // Лесн. журн. – 1990. – №1. – С. 37–43. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Морозов В.С. Расчет напряженно-деформированного состояния оснований зимних лесовозных автомобильных дорог из мерзлого торфа // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса / ЛТА. – Л., 1990. – С. 98–102.
6. Морозов В.С. Расчет толщины зимних лесовозных дорог на болотах // Лесн. журн. – 1991. – № 3. – С. 48–52. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Морозов В.С. Расчет на прочность оснований зимних дорог на болотах // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса / ЛТА. – Л., 1991. – С. 82–88.
8. Морозов В.С. Исследование напряженно-деформированного состояния зимних дорог на болотах // Лесн. журн. – 1991. – № 5. – С. 55–61. – (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Морозов В.С. Основные предпосылки расчета толщины многослойного основания из мерзлого торфа // Лесн. журн. – 1999. – № 2–3. – С. 77–82. – (Изв. высш. учеб. заведений).
10. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Высш. шк., 1973. – 143 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 10.01.2000 г.

V.S. Morozov
**To the Question of Estimating Thickness of Winter
Forest Roads on Bogs**

The substantiation of the design model and its mathematical model are given for determining thickness of winter forest roads on bogs.
