

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 625.731.001.24

В. С. МОРОЗОВ

Архангельский государственный технический университет



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.

**ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ
МЕРЗЛОГО ТОРФА**

Предложена методика определения модуля упругости мерзлого торфа на сжатие по кривым ползучести. Установлено влияние влажности торфа на модуль упругости.

The methods of determining the frozen peat modulus of elasticity in compression by creep curves have been offered. The influence of peat moisture content on the modulus of elasticity has been stated.

При освоении лесных массивов значительную часть древесины вывозят по сезонным зимним автомобильным дорогам. Такие дороги часто проходят по болотам и заболоченным участкам, поэтому задача расчета прочности проезжей части из мерзлого торфа актуальна и имеет важное практическое значение.

Один из основных расчетных параметров – модуль упругости E мерзлого торфа. Его определению посвящен ряд работ [1, 3 – 5], однако уточнение значений модуля упругости и других механических свойств мерзлого торфа по-прежнему необходимо. Это составляет основную цель настоящей статьи.

Мерзлый торф, как известно [2, 4], является многокомпонентной композитной системой, в которой растительные волокна торфяных залежей связаны с помощью льда. Механические свойства такого материала определяют экспериментально. Они зависят от фазового состава воды, прочности волокон, природы контактов между ними, состояния пленок воды и других факторов.

Ниже использованы материалы экспериментов по исследованию деформационных свойств мерзлого торфа, приведенные в работе [6].

В результате анализа этого материала нами получена эмпирическая зависимость между действующими в торфе напряжениями σ и его относительной деформацией ε :

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

Значения расчетных коэффициентов B и n зависят от трех факторов: времени действия нагрузки, относительной влажности торфа и его температуры. По результатам обработки экспериментальных данных методами математической статистики получены следующие регрессионные уравнения:

$$B = 16,6281 + 0,03162t - 0,02525W + 0,2020\theta; \quad (2)$$

$$n = 0,3129 + 0,0006167t - 0,0004247W + 0,01697\theta, \quad (3)$$

где t – время действия нагрузки, ч;

W – относительная влажность торфа, %;

θ – температура торфа, °С.

Для автомобильных дорог значение t можно найти по формуле

$$t = b/v,$$

где b – большая полуось эллипса давления колеса на поверхность дороги, см;

v – скорость движения автомобиля, км/ч.

Пусть $b = 30$ см = 0,0003 км; $v = 60$ км/ч. Тогда $t = 5 \cdot 10^{-6}$ ч = 0,018 с. Для этих значений времени действия сжимающей нагрузки второе слагаемое в формулах (2) и (3) по сравнению с другими пренебрежимо мало. Значит, при определении B и n можно принять $t = 0$, т. е.

$$B = 16,6281 - 0,02525W + 0,2020\theta; \quad (2a)$$

$$n = 0,3129 - 0,0004247W + 0,01697\theta. \quad (3a)$$

Для определения модуля упругости представим формулу (1) в виде

$$\sigma = A\varepsilon^m, \quad (4)$$

где $m = 1/n$; $A = B^n$.

Зависимость (4) является нелинейной. Аппроксимируем ее в заданном диапазоне изменения σ уравнением прямой линии

$$\sigma = E\varepsilon. \quad (5)$$

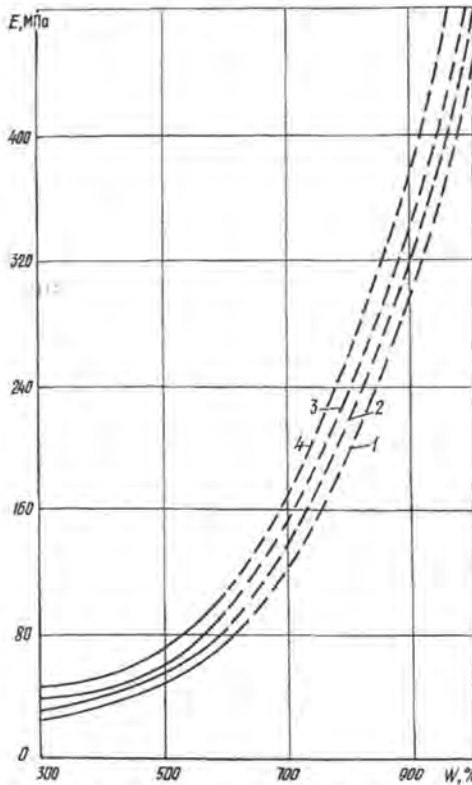


Рис. 1. Зависимость модуля упругости мерзлого торфа от его влажности: 1 - $\theta = -1^\circ\text{C}$; 2 - $\theta = -5^\circ\text{C}$; 3 - $\theta = -10^\circ\text{C}$; 4 - $\theta = -25^\circ\text{C}$

Из всех известных способов аппроксимации (касательных, секущих, ломаных линий и т. д.) используем, как наиболее обоснованный, метод наименьших квадратов. В интегральной форме [6] сумма квадратов разностей значений σ , определяемых по уравнениям (4) и (5), имеет вид

$$\Delta^2 = \int_0^{\epsilon} (Eu - Au^m)^2 du,$$

где буквой u обозначена (вместо ϵ) переменная интегрирования с тем, чтобы отличить ее от верхнего предела.

Используя условия минимума

$$\partial \Delta^2 / \partial E = 0,$$

находим

$$E \frac{\epsilon^2}{3} - \frac{A - \epsilon^{m+2}}{m+2} = 0,$$

отсюда, выражая ϵ по уравнению (1), получаем

$$E = \frac{3n}{B(1+2n)} \sigma^{1-n}. \quad (6)$$

Эта формула справедлива для определения E только в диапазоне изменения влажности W от 300 до 600 % и температуры θ от -1 до -25°C . Значения E , вычисленные для $\sigma = 0,75$ МПа при $t = 0$, приведены в табл. 1.

Как видим, наиболее существенно значения E зависят от влажности мерзлого торфа и менее существенно - от его температуры. Графики этих зависимостей приведены на рис. 1 и 2.

Таблица 1

W, %	Значение E, МПа, при температуре θ , $^\circ\text{C}$				
	0	-5	-10	-15	-20
300	37,14	42,40	46,74	49,46	51,18
400	42,43	49,89	55,41	58,45	60,06
500	52,66	64,03	70,83	73,57	74,30
600	89,30	104,74	107,47	109,04	111,23

Таблица 2

Температура торфа, °С	Коэффициенты уравнения (7)			Критерий Фишера	Коэффициент корреляции
	A_0	A_1	A_2		
0	129,29	-0,538	0,000783	35,509	0,986
-5	132,58	-0,546	0,000831	58,019	0,992
-10	114,04	-0,432	0,000699	102,750	0,955

Зависимость модуля упругости мерзлого торфа от его влажности при неизменной температуре (рис. 1) имеет параболический вид, и ее можно аппроксимировать полиномом

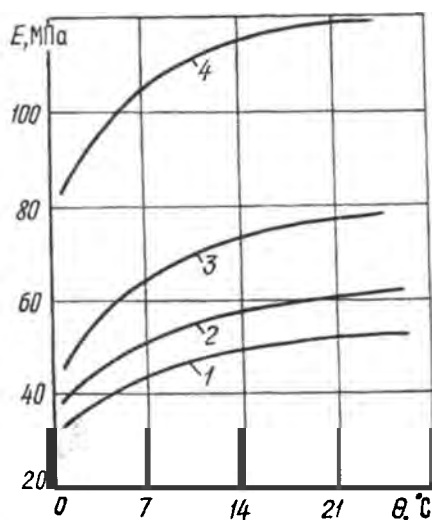
$$E = A_0 + A_1W + A_2W^2. \quad (7)$$

Значения коэффициентов A_0 , A_1 , A_2 приведены в табл. 2.

Вычисленные значения критерия Фишера и коэффициента корреляции позволяют ожидать, что в рассматриваемом диапазоне изменения влажности от 300 до 600 % точность определения E будет достаточно высокой. С увеличением влажности более 600 % точность, конечно, понизится, но и в этом случае уравнение (7) позволит найти ориентировочное значение E . Например, для $W = 800\%$ и $\theta = -5^\circ\text{C}$ находим $E = 199,6$ МПа, а для $W = 1000\%$ имеем $E = 373,8$ МПа и т. д. В работе [4] при аналогичных условиях рекомендуется принимать значение модуля упругости E в диапазоне от 110 до 430 МПа в зависимости от скорости нагружения. Это совпадает с найденными нами значениями и свидетельствует об их достоверности.

На рис. 2 показана зависимость модуля упругости мерзлого торфа от его температуры. Как видим, значения E для мерзлого торфа наиболее интенсивно увеличиваются в диапазоне изменения температуры от 0 до -15°C . При температуре $\theta > -15^\circ\text{C}$ интенсивность его нарастания существенно уменьшается.

Рис. 2. Зависимость модуля упругости мерзлого торфа от температуры: 1 - $W = 300\%$; 2 - $W = 400\%$; 3 - $W = 500\%$; 4 - $W = 600\%$



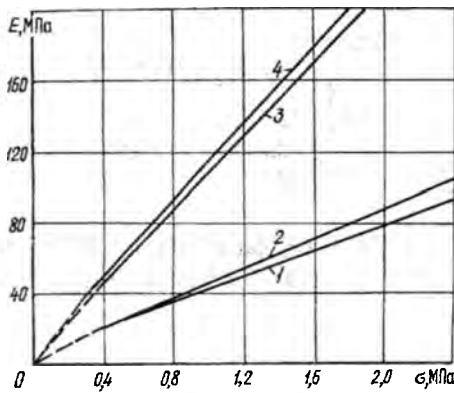


Рис. 3. Зависимость модуля упругости мерзлого торфа от уровня действующих в нем нормальных напряжений: значения W см. на рис. 2; 1, 3 - $t = 4$ ч; 2, 4 - $t = 0$

На рис. 3 приведены графики зависимости модуля упругости мерзлого торфа от среднего удельного давления на площади поверхности эллипса давления от колеса транспортного средства. Графики имеют примерно линейный вид и слабо зависят от времени действия внешней нагрузки.

Напомним еще раз, что эксперименты [2] проведены в диапазоне изменения влажности мерзлого торфа от 300 до 600 %. Для определения модуля упругости мерзлого торфа при $W > 600$ % воспользуемся методами аналитической и графической интерполяции. Эти графики показаны на рис. 1 пунктирными линиями. Используя их, получаем значения E в диапазоне изменения влажности от 400 до 3000 % (табл. 3).

Таблица 3

Тип болота	Влажность торфа, %	Значение E , МПа, при θ , °С			
		-1	-5	-10	-15
Болота I типа с торфяной залежью до минерального дна. Торф сильно-разложившийся, влажность 400...900 %	400	45	52	58	61
	500	56	67	74	77
	600	95	110	118	122
	700	145	166	176	181
	800	213	238	248	254
Болота II типа с торфяной залежью на основании из минеральных илов и сапропелей. Торф среднеразложившийся, влажность 900...1400 %	900	297	330	345	351
	1000	398	438	457	470
	1100	516	563	587	603
	1200	650	705	738	760
Болота III типа с торфяной залежью, плавающей на жидком торфе или жидком иле. Торф слаборазложившийся, влажность 1400...3000 %	1400	970	1020	1055	1080
	2000	2330	2385	2420	2440
	2500	4300	4350	4385	4410
	3000	5600	5670	6040	6060

Таким образом, предложена и математически обоснована методика определения модуля упругости мерзлого торфа на сжатие по кривым ползучести. Расчетные зависимости (1) – (7) позволяют определить с достаточной достоверностью значения E в широком диапазоне изменения влажности торфа и его температуры. Установлено существенное влияние влажности мерзлого торфа на модуль его упругости, что ранее не учитывалось [4].

Значения модулей упругости мерзлого торфа на сжатие, приведенные в табл. 3, могут быть использованы при расчетах напряженно-деформированного состояния оснований зимних дорог на болотах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Амарян Л.С. Прочность и деформируемость торфяных грунтов. - М.: Недра, 1969. - 192 с. [2]. Коваленко Н.П., Морозов В.С. Исследование деформационных свойств мерзлого торфа // Лесн. журн. - 1978. - № 6. - С. 43 - 48. - (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Роман Л.Т., Коновалов А.А. Теплофизические свойства торфов и заторфованных грунтов // Теплофизика промерзающих и оттаивающих оснований. - Красноярск, 1969. - Вып.4. - С. 84 - 96. [4]. Савко Н.Ф., Тупицын Н.М. Несущая способность торфяного покрова и мерзлого слоя торфа при кратковременном и длительном воздействии нагрузок // Строительство трубопроводов. - 1973. - № 3. - С. 21 - 22. [5]. Строительство промышленных сооружений на мерзлом торфе // С.С. Вялов, Г.Л. Каган, А.Н. Воевода, В.И. Муравленко. - М.: Недра, 1980. - 144 с. [6]. Численные методы анализа / Б.П. Демидович, И.А. Марон, Э.З. Шувалова. - М.: Наука, 1967. - 368 с.

Поступила 26 января 1996 г.