

УДК 624. 131. 524.2

**Г.С. Морозов**

Морозов Геннадий Станиславович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры строительного производства Архангельского государственного технического университета. Область научных интересов – расчет и проектирование сооружений из мерзлого торфяного грунта.



### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ МОДУЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ОСНОВАНИЙ ВРЕМЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ МЕРЗЛОГО ТОРФЯНОГО ГРУНТА**

Рассмотрены различные методы определения модулей деформации оснований из мерзлого торфяного грунта. При этом даже однородное основание рассматривается как многослойное и каждый слой обладает линейно-деформационными свойствами.

мерзлый торфяной грунт, модули деформации мерзлых торфов, расчет модулей.

Определение осадок фундаментов зданий и строительных сооружений является важной практической задачей. В настоящее время оно получило достаточно хорошее обоснование и производится по существующим нормам [5]. В работе [4] приведена методика расчета оснований фундаментов при нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями.

В указанных источниках рассмотрены основания из минеральных грунтов. Основания из мерзлого торфяного грунта имеют ряд специфических отличий. Напряженно-деформированное состояние мерзлого торфа зависит, помимо прочих факторов, от температуры, которая монотонно уменьшается с глубиной и его влажности

При расчете напряженно-деформированного состояния торфяного основания методами теории упругости используют модуль деформации, который можно определить по зависимости, полученной при экспериментах на одноосное сжатие образцов мерзлого торфа. Эта зависимость аппроксимируется уравнением вида

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

где  $\varepsilon$  – относительная деформация;

$B$  – коэффициент деформации, МПа<sup>-1</sup>;

$\sigma$  – нормальное напряжение, МПа;

$n$  – степенной коэффициент.

Выражение (1) можно привести к виду [1]

$$\sigma = A\varepsilon^m, \quad (2)$$

где  $A = B^{-1/n}$ ;  $m = 1/n$ .

Зависимость (2) имеет криволинейный характер (рис. 1, линия 1), поэтому при определении модуля деформации следует аппроксимировать ее уравнением прямой линии. Самым простым методом является аппроксимация по методу секущих. В этом случае зависимость  $\sigma = \sigma(\epsilon)$  изображается секущей, проходящей через точки  $O$  и  $A$  (рис. 1, линия 2). Угловым коэффициентом ее равен расчетному модулю деформации мерзлого торфа в этом диапазоне изменения напряжений:

$$E_1 = \frac{\sigma_A}{\epsilon_A}, \quad (3)$$

где  $\sigma_A, \epsilon_A$  – напряжение и относительная деформация в точке  $A$ .

Значения  $E_1$  для различных напряжений приведены в табл. 1.

Однако такой способ аппроксимации следует признать грубым, так как напряжения и деформации совпадают только в двух точках:  $O$  и  $A$ . В остальных точках этого участка кривой  $\sigma(\epsilon)$  наблюдается расхождение в сторону превышения действующих напряжений, которые тем больше, чем больше проявляется нелинейность зависимости  $\sigma(\epsilon)$ . Для уменьшения погрешности вычислений необходимо произвести аппроксимацию кривой  $\sigma(\epsilon)$  на заданном диапазоне изменения  $\epsilon$  таким образом, чтобы прямая линия занимала некоторое промежуточное положение (рис. 1, линия 3).

Для этой цели наиболее удобно использовать метод наименьших квадратов. В интегральной форме исходное уравнение имеет вид

$$I = \int_0^{\epsilon_0} (E_2\epsilon - A\epsilon^m)^2 d\epsilon, \quad (4)$$

где  $I$  – интеграл квадрата отклонений.

Таблица 1

Напряжение $\sigma$ , МПа	Расчетные характеристики модулей деформации				
	$\epsilon$	$E_1$ , МПа	$E_2$ , МПа	$\frac{E_1 - E_2}{E_1} \cdot 100\%$	$E_3$ , МПа
0,05	0,003635	13,8	9,8	28,65	41,7
0,10	0,004569	21,9	13,0	40,36	66,3
0,20	0,005744	34,8	20,8	40,36	105,5
0,30	0,006566	45,7	27,2	40,36	138,5
0,40	0,007220	55,4	33,0	40,36	167,9
0,50	0,007772	64,3	38,4	40,45	195,0

Примечание. Температура мерзлого торфа –8 °С; влажность 400 %; время действия нагрузки 120 ч.

Таблица 2

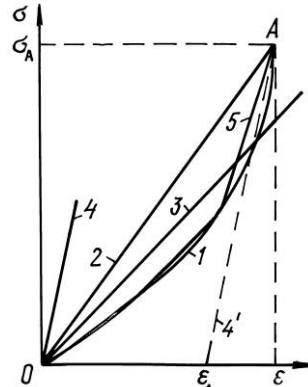


Рис. 1. Кривая зависимости напряжений от относительной деформации и способы ее аппроксимации

Время действия нагрузки, ч	Влажность торфа, %	Температура торфа, °С	Расчетный модуль деформации торфа, МПа, при напряжении, МПа					
			0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
120	400	-3	4,35	7,66	13,48	18,77	23,72	28,46
		-8	9,80	13,05	20,83	27,25	33,04	38,37
		-17	13,16	18,74	26,70	32,83	38,02	42,60
		-25	16,00	21,56	29,04	34,57	39,12	43,06
20	400	-3	5,75	9,15	14,56	19,10	23,17	26,91
		-8	9,06	13,27	19,43	24,29	28,43	32,18
20	400	-3	4,42	7,81	13,56	19,02	24,42	29,66
		-8	8,74	13,56	21,13	28,64	35,54	42,01

Используя условие  $\frac{\partial I}{\partial \varepsilon} = 0$  и выполняя необходимые преобразования, получаем

$$E_2 = \frac{3n}{B(1-2n)} \sigma^{1-n}. \quad (5)$$

Уравнение (5) позволяет определить расчетный модуль деформации мерзлого торфа ( $E_p = E_2$ ) для различных значений температуры, влажности и времени действия нагрузки (табл. 2), полученных по материалам экспериментальных исследований [3]. Значения  $E_p$ , приведенные в табл. 2, хорошо совпадают с данными работы [2].

Расхождение в величине модулей деформации, определенных двумя рассмотренными способами (табл. 1 и 2), довольно существенно и достигает 40 %.

Как видно из рис. 1, второй способ более точно аппроксимирует криволинейный участок  $O-A$ , однако при больших значениях  $\sigma$  расхождения в напряжениях все же большие. Второй способ дает преимущественно заниженные значения модуля деформации, поэтому его можно использовать лишь в приближенных расчетах.

Модуль деформации является переменной величиной, зависящей от уровня напряжений, действующих в той или иной точке грунтового массива. Для каждой точки кривой  $I$  (рис. 1) можно определить модуль деформации как тангенс угла наклона касательной в этой точке, т. е.  $E = d\sigma/d\varepsilon$ . Используя зависимость (1), получаем

$$E = E_3 = \frac{1}{Bn} \sigma^{1-n}. \quad (6)$$

Модуль деформации  $E_3$  характеризует деформационные свойства грунта при бесконечно малом приращении относительной деформации (табл. 1). Значения  $E_3$  существенно больше, чем  $E_1$  и  $E_2$ . Следовательно, сопротивление мерзлого торфа воздействию внешней нагрузки выше, чем при определении методами секущих и наименьших квадратов. На рис. 1 этому случаю соответствуют линии 4 ( $\sigma = E_3\varepsilon$ ) и 4' ( $\sigma = f(\varepsilon)$ ).

Применение уравнения (6) при определении модуля деформации рекомендовать нельзя, так как этот метод дает существенное завышение напряжений.

Анализ показывает, что сведение нелинейной задачи напряженно-деформированного состояния грунтового основания к линейной посредством применения одного модуля деформации для всего основания является слишком грубым.

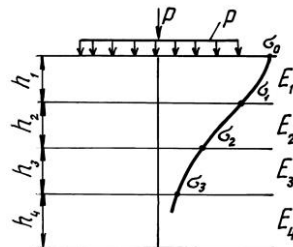
Нелинейный характер изменения модуля деформации в отдельных точках основания, его зависимость от напряжения, температуры, влажности торфа и времени действия нагрузки делает трудноосуществимым непосредственное применение обычных приближенных методов решения нелинейных задач теории упругости [2] для расчета напряженно-деформированного состояния основания из мерзлого торфа.

Нами предлагается приближенный метод такого расчета, согласно которому любое, даже однородное, грунтовое основание рассматривается как многослойное. Предполагается, что каждый слой обладает линейно-деформационными свойствами, а число слоев зависит от точности решения задачи.

Модуль деформации каждого слоя определяется уровнем действующих в нем напряжений  $\sigma = \sigma_z$  и рассчитывается по уравнению (2) методом наименьших квадратов [1].

На рис. 2 показан пример разбивки грунтового массива на четыре слоя.

Рис. 2. Схема разбивки грунтового массива на слои



Выразив напряжения на поверхности каждого слоя в долях от напряжения на поверхности массива ( $\sigma_{i-1} = C_1\sigma_0$  и  $\sigma_i = C_2\sigma_0$ ), получим расчетное уравнение

$$E_4 = \frac{C_1 - C_2}{B(C_1^n - C_2^n)} \sigma^{1-n}. \quad (7)$$

Пример расчета  $E_4$  приведен в табл. 3.

Таблица 3

Напряжения на поверхности каждого слоя, МПа	0,3	0,2	0,08	0,02
Расчетный модуль деформации слоя $E_4$ , МПа, полученный методом:				
секущих	121,6	80,1	38,5	7,7
наименьших квадратов	122,4	82,5	41,1	13,5

Замена однослойного массива многослойным при расчетах напряженно-деформированного состояния основания в зависимости от уровня действующих в нем напряжений равносильна замене фактической зависимости  $\sigma(\varepsilon)$  ломаной линией 5 (рис. 1).

Такая аппроксимация называется кусочно-линейной и хорошо описывает реальные свойства материала основания. Точность определения модуля деформации  $E_4$  зависит от числа сторон ломаной линии и повышается с увеличением их числа. Однако при этом возрастает трудоемкость вычислений, поэтому число слоев не должно быть большим.

Рассмотренный метод является приближенным. В частности, не принимаются во внимание изменения напряжений не только по глубине массива основания, но и в двух других направлениях. Но он более полно учитывает способность мерзлого торфа сопротивляться действующим нагрузкам, а также изменение механических свойств мерзлого торфа в зависимости от характера распределения его температуры и влажности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вялов С. С. и др. Прочность и ползучесть мерзлых грунтов и расчет ледогрунтовых ограждений / С.С. Вялов, В. Г. Гмошинский, С. Э. Городецкий и др. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 254 с.
2. Коваленко Н. П. Техническая мелиорация торфяных грунтов в строительных целях. – Архангельск: АЛТИ, 1971. – 72 с.
3. Коваленко Н. П., Морозов В. С. Деформационные свойства мерзлого торфа // Лесн. журн. – 1978. – № 3. – С. 43-48. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Мальшев М. В., Никитина Н. С. Расчет осадок фундаментов при нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями в грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1982. – № 2. – С. 21-25.
5. СНиП 2.02.01.–83. Основания зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1985.

Архангельский государственный технический университет  
Поступила 22.03.99

*G.S. Morozov*

#### **Determining the Calculated Values of the Deformation Modules for Temporary Structures Basement made of Frozen Peat Ground**

Different methods of determining the deformation modules for basements made of frozen peat ground are viewed. In this case even the uniform basement is treated as a multilayer one, every layer possessing the linear deformation properties.

---