

УДК 624.131.52:624.139.2

**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. Имеет 4 печатные работы по расчетам и проектированию сооружений из мерзлого торфяного грунта.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДОК СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВАНИИ ИЗ МЕРЗЛОГО ТОРФЯНОГО ГРУНТА

Рассмотрена методика расчета осадок фундаментов на основании из мерзлого торфяного грунта с применением послойного суммирования и учетом изменения модуля упругости по толщине рассчитываемого массива грунта.

*Ключевые слова:* мерзлый торфяной грунт, напряжения, осадки, модули упругости, метод послойного суммирования.

В настоящее время одним из основных практических методов определения осадок сооружений на основании из минеральных грунтов является послойное суммирование [1, 2]. Суть его заключается в том, что грунтовое основание разбивают на достаточно тонкие слои. Каждый из них может иметь один и тот же (в случае однородного основания) или разные (в случае неоднородного основания) модули упругости.

Для каждого слоя определяют осадку в зависимости от уровня действующих на его поверхности напряжений, а затем полученные осадки отдельных слоев суммируют.

Метод послойного суммирования является приближенным, но результаты расчетов довольно хорошо совпадают с данными наблюдений за осадками сооружений [1]. Его можно применять также и при расчете осадок сооружений на основании из мерзлых торфяных грунтов, зависимость между напряжениями и осадками которых является нелинейной.

Для определения характера этой зависимости были проведены в лабораторных условиях испытания на одноосное сжатие образцов мерзлого торфяного грунта ненарушенного сложения [3]. Степень разложения торфа составляла 25 ... 31 %, влажность варьировали от 300 до 600 %, температуру от  $-3$  до  $-25$  °С. По данным испытаний строили кривые ползучести, затем для различных моментов

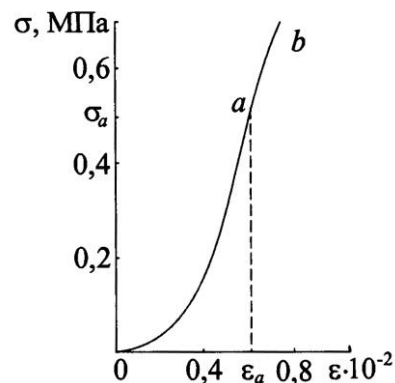


Рис. 1. Зависимость между напряжением  $\sigma$  и относительной деформацией  $\epsilon$

находили зависимость между напряжениями  $\sigma$  и деформациями  $\varepsilon$  мерзлого торфа (рис. 1). Эта зависимость является нелинейной и состоит из двух участков:  $0a$  и  $ab$ .

На участке  $0a$  зависимость  $\sigma(\varepsilon)$  имеет выпуклость вниз (к оси  $\varepsilon$ ) и относится к жестким, т. е. по мере роста напряжений интенсивность нарастания осадок уменьшается.

На участке  $ab$  и далее зависимость  $\sigma(\varepsilon)$  имеет выпуклость вверх и относится к мягким, т. е. по мере возрастания напряжений интенсивность нарастания деформаций увеличивается.

Аналогом жесткой характеристики является случай, представленный на рис. 2. Здесь основание плиты  $1$  изображено в виде совокупности пружин  $2$ , имеющих разную длину. По мере возрастания силы  $F$  происходит опускание плиты. При этом последовательно начинают деформироваться все новые пружины и сопротивление основания перемещениям плиты увеличивается. Условная зависимость  $F(\delta)$  показана на рис. 3. Она состоит из нескольких участков, соответствующих действию определенного числа пружин. Напри-

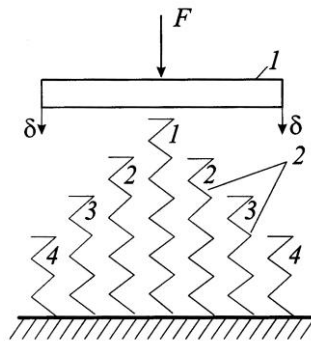


Рис. 2. Условная расчетная схема жесткого основания

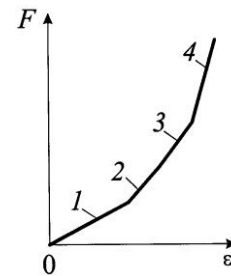


Рис. 3. Зависимость  $F(\delta)$  для схемы на рис. 2

мер, на первом участке деформируется только пружина  $1$ , на втором – пружины  $1$  и  $2$  и т. д.

Мерзлый торфяной грунт является многокомпонентной системой, состоящей из частиц льда, растительных волокон, минеральных частиц, воды и газовых включений. Основное сопротивление действию внешней нагрузки оказывают растительные остатки и частицы льда, меньшее – воды. По мере увеличения нагрузки в контакт вступают все новые частицы растительных волокон и льда, в результате возрастает сопротивление мерзлого торфяного грунта, что проявляется в повышении жесткости системы.

При дальнейшем увеличении нагрузки (участок  $ab$ ) разрушаются связи между растительными волокнами и частицами льда и сопротивление мерзлого торфа внешней нагрузке уменьшается.

На участках  $0a$  и  $ab$  зависимость  $\sigma(\varepsilon)$  является явно нелинейной, поэтому аппроксимировать ее линейным уравнением вида  $\sigma = E\varepsilon$  с постоянным модулем упругости  $E$  слишком грубо. Мерзлый торфяной грунт имеет переменный модуль упругости, мгновенное значение которого равно тангенсу угла наклона касательной к кривой  $\sigma(\varepsilon)$  для данного значения  $\sigma$ .

В качестве рабочего примем участок  $0a$ , где ползучесть мерзлого торфа является затухающей. По данным опытов, напряжения на этом участке изменяются от нуля до 0,5 МПа, а зависимость  $\sigma(\varepsilon)$  хорошо аппроксимируется уравнением

$$\sigma = A\varepsilon^m, \quad (1)$$

где  $A$ ,  $m$  – коэффициенты, определяемые экспериментально.

По уравнению (1) можно рассчитать переменный модуль упругости для любого слоя. Так как

$$E_i = \frac{\Delta\sigma_i}{\Delta\varepsilon_i} = \frac{\sigma_{i-1} - \sigma_i}{\varepsilon_{i-1} - \varepsilon_i}, \quad (2)$$

Таблица 1

Температура, °С	Значения $B \cdot 10^{-3n}$ , МПа, и $n$ при влажности торфа, %							
	300		400		500		600	
	$B$	$n$	$B$	$n$	$B$	$n$	$B$	$n$
-3	5,043	0,135	8,092	0,185	9,522	0,240	13,930	0,330
-8	6,516	0,285	9,769	0,330	10,812	0,365	15,082	0,450
-17	8,190	0,440	12,239	0,490	13,762	0,520	17,079	0,570
-25	8,046	0,530	13,773	0,570	14,737	0,600	19,620	0,660

то, выражая  $\varepsilon$  из уравнения (1), получаем

$$E_i = \frac{\sigma_{i-1} - \sigma_i}{B(\sigma_{i-1}^n - \sigma_i^n)}, \quad (3)$$

где  $B$ ,  $n$  – коэффициенты,  $B = A^{-n}$ ;  $n = m^{-1}$ .

Значения  $B$  и  $n$  для некоторых условий приведены в табл. 1.

Приведенные данные показывают, что даже в случае оснований из однородного массива мерзлого торфяного грунта модули упругости слоев зависят от их температуры и влажности,

При определении по формуле (3) модуля упругости слоя необходимо знать характер изменения напряжения  $\sigma$  по глубине массива. В соответствии с методом послойного суммирования для этого используют решение линейной задачи и определяют напряжения  $\sigma_z$  на вертикальной оси симметрии фундамента.

Расчетные зависимости имеют вид:

– для прямоугольного фундамента со сторонами  $2a$  и  $2b$  (пространственная задача) [1]:

$$\sigma_z = \frac{2P}{\pi} \left[ \operatorname{arctg} \frac{ab}{z\sqrt{a^2 + b^2 + z^2}} + \frac{zab(a^2 + b^2 + 2z^2)}{(a^2 + z^2)(b^2 + z^2)\sqrt{a^2 + b^2 + z^2}} \right]; \quad (4)$$

– для круглого фундамента диаметром  $2r$  (осесимметричная задача):

$$\sigma_z = P \left( 1 - \frac{z^3}{r^2 + z^2} \right); \quad (5)$$

– для ленточного фундамента шириной  $2b$  (плоская задача):

$$\sigma_z = 2 \frac{P}{\pi} \left( \operatorname{arctg} \frac{b}{z} + \frac{bz}{b^2 + z^2} \right), \quad (6)$$

где  $P$  – интенсивность внешней нагрузки, равномерно распределенной по площади фундамента.

Разбивая основание на отдельные слои, отличающиеся влажностью или температурой торфа, можно по формуле (3) определить модуль упругости каждого слоя ( $E_i$ ), а затем их осадку ( $S_i$ ) по обычной формуле [2]

$$S_i = 0,8 \frac{\sigma_{\text{ср}i} h_i}{E_i}, \quad (7)$$

4

где  $h_i$  – толщина слоя;

$\sigma_{\text{ср}i}$  – среднее напряжение слоя,  $\sigma_{\text{ср}i} = 0,5(\sigma_{i-1} + \sigma_i)$ .

Подставляя в уравнение (7) выражения для  $\sigma_{\text{ср}i}$  и модуля упругости  $E_i$ , получаем

$$S_i = 0,4 h_i \frac{(\sigma_{i-1} + \sigma_i) B(\sigma_{i-1}^n - \sigma_i^n)}{\sigma_{i-1} - \sigma_i}, \quad (8)$$

что позволяет определить осадку каждого слоя при заданном законе изменения  $\sigma(z)$ .

Таким образом, используя экспериментальную зависимость (1), можно модернизировать метод послойного суммирования и применить его для определения осадок сооружений, возводимых на мерзлых торфяных грунтах.

Предлагаемую методику расчета осадок поясним на примере. Пусть фундамент сооружения представляет собой прямоугольную плиту размерами  $3 \times 3$  м, лежащую на слое мерзлого торфяного грунта большой мощности, удельная нагрузка на подошве плиты  $0,3$  МПа.

Физико-механические свойства мерзлого торфяного грунта в основании фундамента соответствуют данным, полученным при проведении лабораторных испытаний. Влажность грунтового массива является однородной и составляет  $600\%$ , температура торфа на поверхности равна  $-10$  °С; на глубине  $3$  м –  $3$  °С. Между этими точками температура изменяется по линейному закону.

Разбиваем массив на слои такой толщины, чтобы разность значений  $\sigma_z$  на границах слоев не превышала  $0,03 \dots 0,05$  МПа (рис. 4).

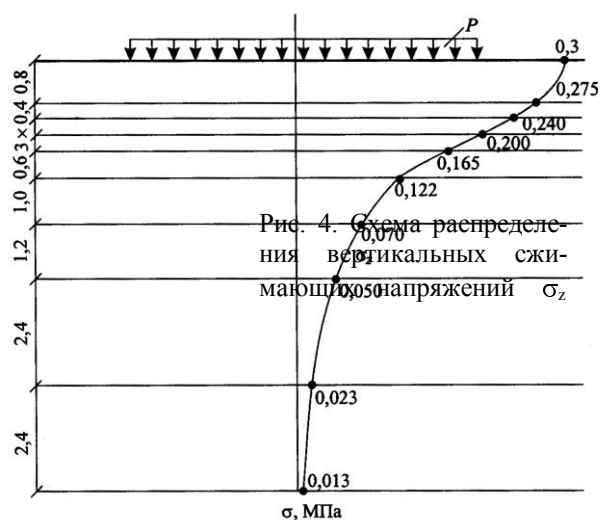


Рис. 4. Схема распределения вертикальных сжимающих напряжений  $\sigma_z$

Таблица 2

№ слоя	Голщина слоя, м	Напряжение на поверхности слоя, МПа	Среднее напряжение слоя, МПа	Средняя температура слоя, °С	Коэффициенты		Модуль упругости слоя, МПа	Осадка слоя, см
					$B \cdot 10^{-3n}$ , МПа	$n$		
1	0,8	0,300	0,288	9,07	15,33	0,476	71,3	2,581
2	0,4	0,275	0,258	7,66	15,00	0,442	70,7	1,166
3	0,4	0,240	0,240	6,73	14,79	0,419	66,9	1,053
4	0,4	0,200	0,182	5,80	14,58	0,397	61,8	0,944
5	0,6	0,165	0,144	4,63	14,31	0,369	55,4	1,243
6	1,0	0,122	0,100	3,55	14,06	0,343	45,1	1,765
7	1,2	0,077	0,064	3,34	14,01	0,338	33,8	1,806
8	2,4	0,050	0,036	3,86	14,13	0,351	22,9	3,057
9	2,4	0,023	0,016	4,54	14,28	0,367	14,8	2,335
10	2,4	0,013	0,011	4,54	14,28	0,367	10,9	1,933
Итого	–	–	–	–	–	–	–	17,883

Результаты вычислений приведены в табл. 2.

Значения  $B$  и  $n$  зависят от температуры торфа, поэтому для каждого слоя необходимо знать также и среднюю температуру, которую находим методом линейной интерполяции.

Мощность активной зоны (1–8) в рассматриваемом примере равна 7,2 м, осадка фундамента в пределах этой зоны 1,36 см.

Если решать линейную задачу, т. е. принять модуль упругости постоянным для всех слоев, то осадка изменится. Для рассматриваемого примера имеем:  $E = 34,2$  МПа, осадка – 1,95 см. Следовательно, осадка, подсчитанная при постоянном модуле упругости, на 32 % больше, полученной с учетом нелинейных свойств мерзлого торфа.

В статье не рассмотрены другие факторы, влияющие на осадку, например уменьшение несущей способности мерзлых торфяных грунтов с повышением их температуры. Зная сезонный ход температуры, нетрудно, применяя приведенную методику, определить осадку сооружений в период оттепелей и весеннего потепления и, следовательно, расчетный срок эксплуатации фундамента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Далматов, Б.И. Проектирование зданий и сооружений промышленных и гражданских зданий [Текст] / Б.И. Далматов [и др.]. – Л.: Высш. шк., 1968. – 292 с.
2. Строительные нормы и правила. Ч. 2., гл.15. Основания зданий и сооружений. СНиП II-15-74 [Текст]. – М.: Стройиздат, 1975. – 64 с.
3. Флорин, В.А. Основы механики грунтов. Т. 1 [Текст] / В.А. Флорин. – Л.; М.: Госстройиздат, 1959. – 357 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 26.05.03

*G.S. Morozov*

4\*

#### **Determination of Structures Settlements on Foundation of Frozen Peat Soils**

Method of calculation of foundation settlements on basement made from frozen peat soil by using layered summing and taking into account change of elasticity module along thickness of estimated soil massif.

---