

А. С. Моргун, д. т. н., проф.; А. А. Ежов

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АЛЮВИАЛЬНЫХ СУГЛИНКОВ ДЛЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОСНОВ

В статье исследовано определение модуля деформации алювиального суглинка в состоянии его полного водонасыщения, построена компрессионная кривая, вычислен коэффициент уплотнения.

Ключевые слова: геомеханические процессы, почва, сжимаемость, модуль деформаций, компрессионные исследования.

Введение

Проблема оценки несущей возможности основ фундаментов является определяющей при практическом проектировании. На сегодняшний день она становится все более важной для строительства, когда происходит переход к крупномасштабным плитным и плитно-свайным фундаментным конструкциям, контактное напряжение с почвами в которых достигает 1 МПа.

Достоверность прогноза развития геомеханических процессов в основах сооружений связана с необходимостью определения действительных входных параметров выбранной модели почв. Как известно, сжимаемость почвы выражается через модуль деформаций E . Различают компрессионный модуль деформаций, который определяется по данным исследованиям почвы без возможности его бокового расширения, и свободный модуль деформации E , который определяют в условиях сравнительно свободного расширения (например, при исследованиях почвы штампом). В обоих случаях величина модуля деформаций является величиной переменной, зависящей от нагрузки.

Постановка задачи, определяющие соотношения

Для определения модуля деформаций почвы в лабораторных условиях используются компрессионные приборы (одометры, приборы трехосного сжатия), в которых образец почвы сжимается без возможности бокового расширения. Модуль деформаций вычисляют на выбранном интервале давлений $\Delta p = p_2 - p_1$ графика исследований (рис. 1) по формуле:

$$E = (1 + e_0) \cdot \beta / \alpha, \quad (1)$$

где e_0 – начальный коэффициент пористости почвы, β – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения почвы в приборе, определяется в зависимости от коэффициента поперечного расширения Пуассона ν или коэффициента бокового давления $\xi (\nu = \frac{\xi}{1 + \xi})$ (таблица 1), α – коэффициент уплотнения – количественная характеристика возможности почвы уплотняться в условиях невозможности бокового расширения. Численно он равен тангенсу угла наклона прямой в заданном интервале давлений p_1 и p_2 (удельной нагрузки), рис. 1:

$$\alpha = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1}. \quad (2)$$

Интервал давлений $p_2 - p_1$ выбирается каждый раз в зависимости от условий поставленной задачи. Давление p_1 (МПа) соответствуют природному (давлению от собственного веса

почвы); p_2 (МПа) – ожидаемое давление под подошвой фундамента; e_1, e_2 – коэффициенты пористости, соответствующие давлениям p_1 и p_2 .

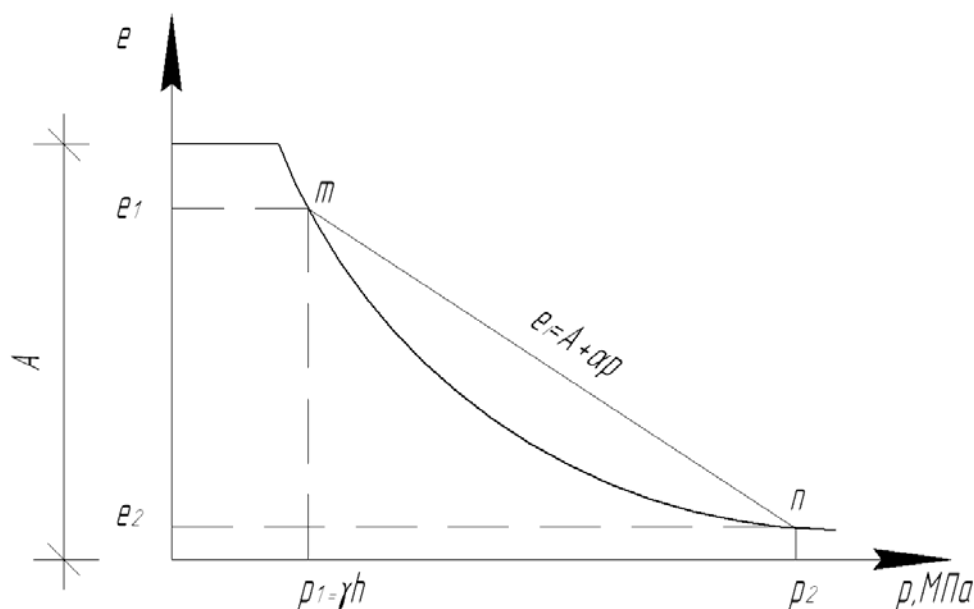


Рис. 1. Кривая исследования почвы на сжатие в компрессионном приборе

Таблица 1

Среднее значение коэффициента Пуассона ν и коэффициента β		
Почва	ν	$\beta = \frac{1 - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $\beta = \frac{(1 - \xi) \cdot (1 + 2\xi)}{1 + \xi}$
крупнообломочная	0,27	1,17
песок и супесь	0,3	0,74
суглинок	0,35	0,62
глина	0,42	0,4

Значения E по компрессионным исследованиям для всех почв, кроме сильносжатых, оказываются заниженными, особенно для глинистых почв, поэтому в расчетах осадок эти данные нужно исправлять на основе сопоставления исследований этой же почвы в полевых условиях штампом. Для четвертинных супесей, суглинков, глин в (1) можно ввести корректирующий коэффициент "m" [2] к компрессионному модулю деформаций:

$$E = \frac{m \cdot (1 + e_0) \cdot \beta}{\alpha}. \quad (3)$$

Для проведения расчетов наиболее надежные значения модуля общей деформации почвы получают по результатам полевых исследований почв пробной статической нагрузкой.

В практике инженерно-геологических исследований модуль общей деформации определяется в диапазоне напряжений 0,1 – 0,3 МПа или 0,1 – 0,2 МПа (верхний предел

определяется давлением под подошвой фундамента). Опыты проводят в шурфах жесткими штампами площадью $A = 2500 - 5000 \text{ см}^2$ или в скважине площадью штампа $A = 600 \text{ см}^2$. По результатам исследований строится график зависимости оседания штампа S от давления p (рис. 2).

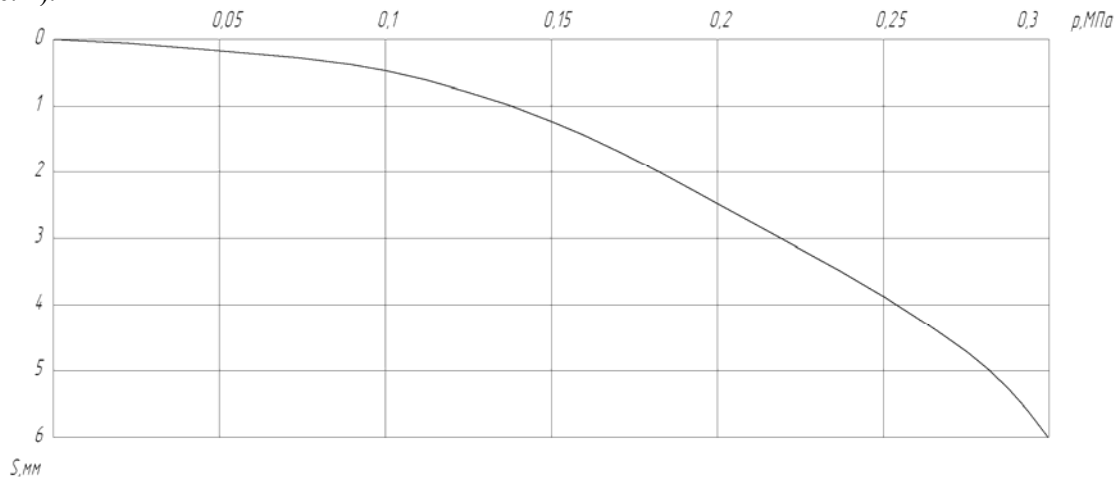


Рис. 2. График зависимости оседания штампа S от давления p

Модуль в этом случае оценивается по наклону ветки кривой зависимости " $p - S$ " для области сжатия по формуле:

$$E = (1 - \nu^2) \cdot \omega \cdot b \cdot \frac{\Delta p}{\Delta S}, \quad (4)$$

где ω – безразмерный коэффициент, который зависит от жесткости штампа и формы его подошвы, b – диаметр или ширина штампа, Δp – прирост давления по подошве штампа в пределах прямолинейного участка графика, $S = f(p)$, ΔS – прирост оседания прямой, который соответствует Δp .

За границу прямолинейного участка графика (при выборе Δp) принимается степень нагрузки, при которой прирост оседания в 2 раза больше предыдущей степени.

В современных ДБН [1] выдвигается требование определения модуля деформаций почвы в зависимости от величины давлений. В работе проведено исследование определения E алювиального суглинка в состоянии его полного водонасыщения, построена компрессионная кривая вида $e = f(p)$, обчислен коэффициент уплотнения α и модуль деформаций E (табл. 2).

Начальная высота образца $h_0 = 30 \text{ мм}$, удельная плотность суглинка $\rho_0 = 2,7 \frac{\text{м}}{\text{м}^3}$, начальная

влажность суглинка $W = 25\%$, его объемный вес $\gamma_w = 20,1 \frac{\text{м}}{\text{м}^3}$. При начальной влажности вес

образца $q_1 = 361,8 \text{ г}$. При компрессионном исследовании регистрация величины деформации определялась по индикатору. Удельное давление p прикладывалось равными значениями: 100, 200, 300, 400 кПа (1, 2 вертикаль в табл. 2).

Начальное значение коэффициента пористости

$$e_0 = w \cdot \rho_0 \cdot 1 = 0,25 \cdot 2,7 \cdot 1 = 0,675. \quad (5)$$

Коэффициент пористости (рис. 3) под нагрузкой определяем после уплотнения:

$$e_i = e_0 - \varepsilon \cdot (1 + e_0), \quad (6)$$

где ε – относительное оседание образца по вертикали (3) табл. 2; e_0 – начальный коэффициент пористости.

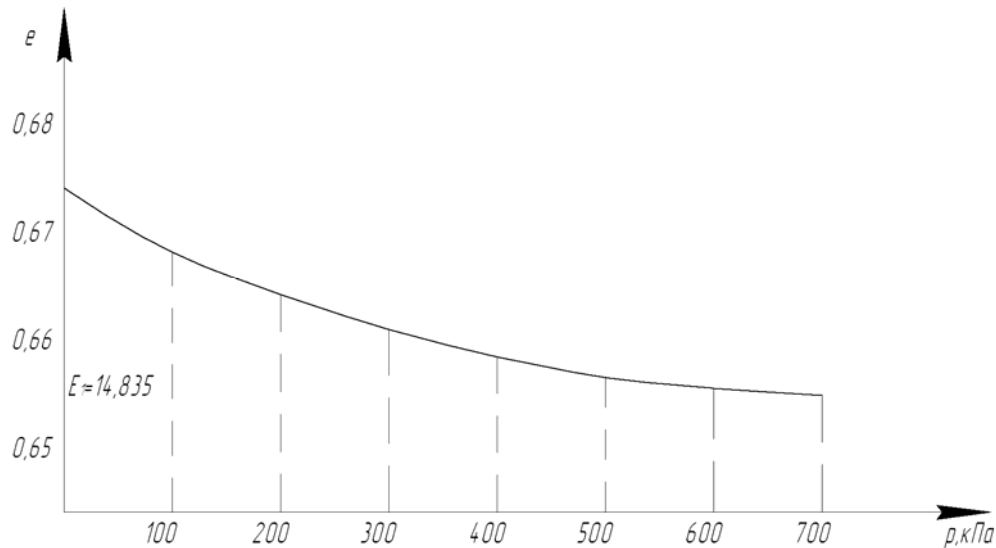


Рис. 3. Компрессионная кривая вида $e = f(p)$, рассчитанная по показателям индикатора

Модуль деформаций E в таблице 2 определялся по вышеуказанному алгоритму (формулы 1, 2, табл. 1).

Таблица 2

Построение компрессионной кривой e_0 , коэффициента уплотнения α_i и модуля деформации E_i

Удельное давление p , кПа	Полная осадка по индикатору Δh , мм	Относительная осадка $\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}$	Коэффициент пористости $e_i = e_0 - \varepsilon \cdot (1 + e_0)$	Пределы удельных давлений P , МПа	Коэффициент уплотнения α_i	Модуль деформаций E_i , кПа
1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0,675			
100	0,12	0,04	0,670	0-0,1	0,00007	14835,7
200	0,19	0,0063	0,607	0,1-0,2	0,00004	24962,5
300	0,23	0,0077	0,6645	0,2-0,3	0,0000253	41007
400	0,26	0,0087	0,66277	0,3-0,4	0,0000173	59005
500	0,29	0,0097	0,6613	0,4-0,5	0,0000146	71000
600	0,31	0,0103	0,66005	0,5-0,6	0,0000126	82421
700	0,32	0,0107	0,659	0,6-0,7	0,0000107	96700

По ДБН [1] нормативное значение модуля деформаций алювиального суглинка составляет 22 МПа. На рис. 4 – полученные значения E по компрессионным исследованиям при разных давлениях на почву.

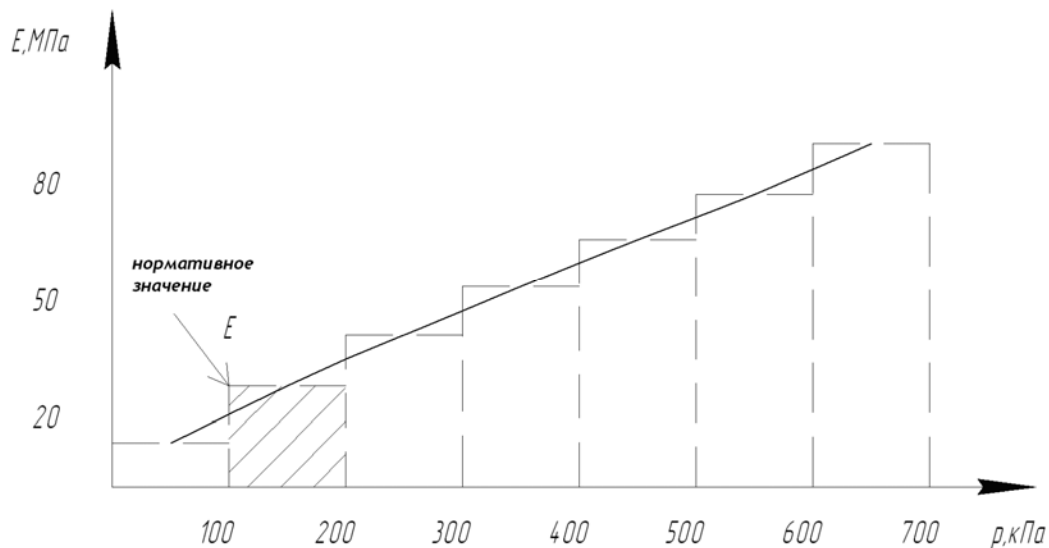


Рис. 4. Модуль деформаций по компрессионным исследованиям

Вывод

Модуль деформаций почвы – переменная величина, зависящая от параметров сжатия почвы, в разных пределах давлений имеет разное значение, в нелинейных расчетах должен быть векторной величиной. Значения модуля деформации по компрессионным исследованиям для всех почв (кроме сильносжатых) оказались заниженными, особенно для глинистых почв, поэтому в расчетах осадок эти данные необходимо корректировать на основе сопоставления исследований этой же почвы в полевых условиях штампом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. К.; 2009. – 80 с.
2. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий сооружений. – М.: Стройиздат, 1985. – 40 с.

Моргун Алла Серафимовна – д. т. н., профессор кафедры промышленного и гражданского строительства.

Ежов Алексей Александрович – студент кафедры промышленного и гражданского строительства. Винницкого национального технического университета.