

*Калачук Т.Г., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## ОСОБЕННОСТИ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ С КОАГУЛЯЦИОННЫМ ТИПОМ СТРУКТУРЫ

tatyana.calachuk@yandex.ru

*В статье изложены результаты исследования сдвига некоторых видов грунтов с целью изучения зависимости между напряжениями и деформациями сдвига, а также выявленные факторы, влияющие на закономерности уплотнения грунтов и материалов с коагуляционным типом структуры.*

**Ключевые слова:** грунт, сдвиг, уплотнение, относительная влажность, деформации, зависимость.

Вопрос уплотнения грунтов имеет важное значение при строительстве на слабых основаниях. Необходимая степень плотности грунтов зависит от передаваемых нагрузок, возможностей изменения температурно-влажностного режима, назначения уплотняемых грунтов. Искусственное уплотнение грунтов относится к улучшению физико-механических свойств без коренного изменения их физико-механической природы. Для уплотнения грунтов применяют различные методы: поверхностное уплотнение, виброуплотнение, уплотнение статической нагрузкой, путем сооружения фундаментов в вытрамбовываемых котлованах [1, 2]. Уплотняемость грунтов определяют по методике стандартного уплотнения [3]. Процесс уплотнения грунта делится на два этапа.

При уплотнении на первом этапе преобладают деформации сдвига. Для изучения зависимости между напряжениями и деформациями сдвига были проведены исследования сдвига ряда грунтов, в том числе пылеватого суглинка и сланцевых грунтов.

При малых относительных влажностях грунтов, зависимость между сдвигающими усилиями и деформациями, близка к линейной.

При относительных влажностях  $W_0 \geq 0,44$  зависимость становится криволинейной. Переломные точки, соответствующие предельному сдвигающему усилию, а также площадки текучести на кривой отсутствуют. Деформации сдвига при этих влажностях состоят, в основном, из пластических, необратимых, которые по мере уплотнения затухают.

Первая серия опытов была проведена с грунтами естественного строения при различной влажности. Во второй серии монолитные грунты предварительно высушивались, а затем доувлажнялись однонормальным раствором  $\text{CaCl}_2$ .

Пунктиром (рис. 1) показана зависимость для образца с примесью  $\text{CaCl}_2$ .

Для установления зависимости между деформациями и сдвигающими усилиями, опытные данные аппроксимировались параболическими и гиперболическими зависимостями. Сравнение показало, что наилучшее приближение зависимости к результатам сдвига обеспечивают параболические зависимости (табл. 1).

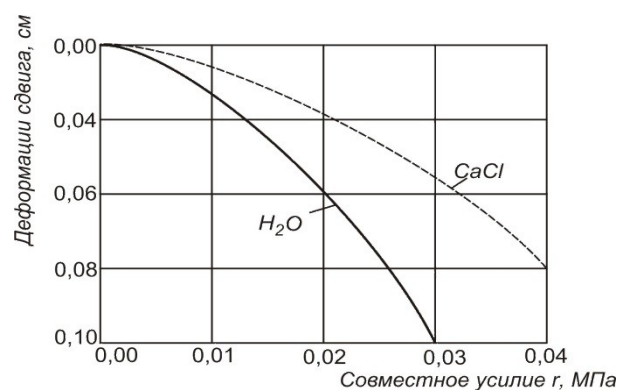


Рис. 1. Зависимость деформации сдвига от сдвигающих усилий

С увеличением уплотняющих нагрузок и соответствующим увеличением объемами массы скелета грунта коэффициент уплотнения увеличивается. При постоянной с увеличением объемной массы скелета грунта коэффициент уплотнения изменяется в сторону увеличения только модуля сдвига.

Испытания грунтов на сдвиг подтверждают положения о решающем влиянии жидкой фазы на развитие и характер деформаций сдвига.

В результате проведения опытов были получены зависимости между объемной массой скелета и уплотняющими нагрузками. Характерные результаты исследований для пылеватого тяжелого суглинка с  $W_L = 0,35$  приведены в табл. 2.

Эти данные были использованы для определения соответствия между теоретической зависимостью для необратимых деформаций

сжатия, относящихся к концу уплотнения грунта и результаты лабораторных работ.

Таблица 1

### Результаты испытаний тяжелосуглинистого сланца

Сдвигающее усилие $\tau$ , МПа	Фактическая деформация сдвига $S$ , см	Деформация сдвига, вычисленная по $S_{выч} = 0,183\tau$		Деформационные сдвиги, вычисленные по $S_{вып} = 0,025 \cdot 10^{0,85} \tau$	
		$S_{выч}$ , см	$\Delta\%$ погрешности	$S_{вып}$ , см	$\Delta\%$ погрешности
0,056	0,025	0,0264	4,11	0,062	0,34
0,073	0,083	0,087	0,13	0,107	2,1
0,120	0,183	0,189	0,21	0,182	0,53
0,145	0,324	0,275	15,8	0,255	3,76
0,164	0,512	0,576	12,22	0,457	20,52
0,185	0,887	0,864	5,27	0,746	14,76
0,220	1,294	1,283	0,98	1,276	4,22

Таблица 2

### Зависимость сдвигового напряжения от относительной влажности грунта

Сдвиговые напряжения $\tau$ , МПа	Объемная масса скелета $\text{г/см}^3$ при относительной влажности						
	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7	1,0
0,00	0,93	0,94	1,041	0,92	1,07	0,92	1,05
0,351	0,991	0,98	1,03	1,07	1,06	1,08	1,13
0,700	1,09	1,07	1,11	1,19	1,21	1,27	1,38
1,02	1,021	1,037	1,09	1,17	1,28	1,36	1,44
1,37	1,032	1,059	1,13	1,28	1,31	1,39	1,48
2,13	1,047	1,066	1,128	1,355	1,418	1,467	1,49
2,75	1,08	1,119	1,19	1,49	1,53	1,55	-
4,18	1,09	1,128	1,18	1,53	1,59	1,59	-
5,53	1,11	1,19	1,23	1,59	1,61	-	-
7,21	1,13	1,26	1,231	-	-	-	-
8,59	1,18	1,36	1,46	-	-	-	-
9,18	1,21	1,41	-	-	-	-	-
10,46	1,33	1,5	-	-	-	-	-

Цифры на кривых (рис. 2) обозначают относительную влажность, пунктиром даны значения, вычисленные по формуле 1:

$$S_{\Sigma ж} = C \frac{W}{W_{\tau}^p} \left(1 - \frac{C_0^H}{\sigma^H}\right) \quad (1)$$

где  $W_{\tau}^p$  – влажность границы текучести;  $\sigma^H$  – напряжения в слое грунта;  $C_0^H$  – постоянная длина рабочего хода. Для конца процесса уплотнения теоретическая зависимость соответствует эксперименту. Характерно, что чем больше уплотняющая нагрузка, тем меньше предел влажности  $(0,48 \dots 0,7)W_L$ .

Увеличение нагрузки приводит к выжиманию пленок связанной воды из зон контактов, уменьшению толщины пленок и частичному разрушению структуры воды. Чем больше нагрузка, тем больше это разрушение. На уплотняемость грунтов, укрепленных органическим вяжущим, большое влияние оказывает не только количество жидкой фазы, но

и соотношение между ее компонентами – водой и битумом.

На рис. 3 сплошными линиями показано изменение объемного веса скелета грунта в зависимости от содержания битума.

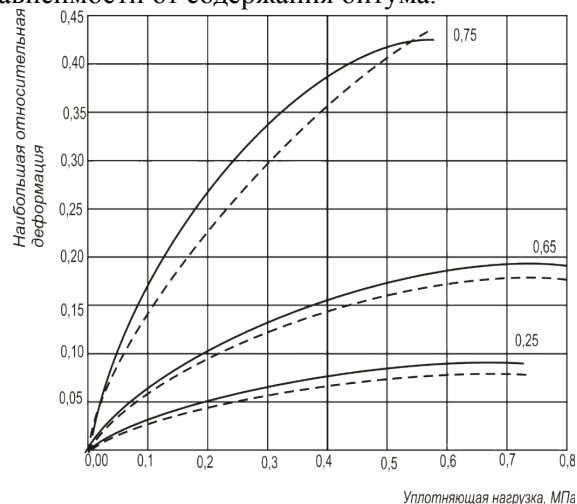


Рис. 2. Зависимость относительной деформации от уплотняющей нагрузки

Грунты укреплялись жидким битумом  $C_{60}^5 = 20$  с. Суммарное содержание воды и битума во всех случаях было одинаковым и

равным  $0,6 W_L$ . Кривая (1) относится к грунту с  $W_L = 0,22$ , (2) – к грунту с  $W_L = 0,43$ , (3) – к грунту с  $W_L = 0,17$ .



Рис. 3. Зависимость изменения объемного веса скелета от содержания битума

Исследование уплотнения грунтов, укрепленных цементом, показывает, что и в этом случае сохраняются общие закономерности, описанные выше. Специфика таких грунтов проявляется в том, что при введении цемента значительно возрастает удельная поверхность смеси, поэтому большая часть воды находится в зоне действия межмолекулярных сил. Структура воды изменяется вследствие гидратации цемента, что увеличивает вязкость смеси и влажность границы текучести. Эти факторы содействуют ухудшению уплотняемости грунтов, укрепленных цементом.

Имеется и другой фактор, который определяет увеличение объемной массы. Кристаллики цемента размещаются в порах и пустотах между агрегатами и частицами грунта. При этом формируется более плотная структура.

Второй фактор является определяющим, и в целом при прочих равных условиях объемная

масса скелета, укрепленных цементом грунтов, больше, чем неукрепленных.

Общие закономерности уплотнения материалов с коагуляционным типом структуры сохраняются и для грунта, щебня, гравелистых и галечниковых грунтов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Черныш А.С. Уплотнение грунтов с одновременным вытрамбовыванием котлованов. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №5. С. 112–119.

Куликов Г.В., Герасименко В.Г. Уплотнение искусственных оснований инженерных сооружений на слабых грунтах механическими методами. АДИ ДонГТУ, Горловка, 2001. 89 с.

ГОСТ 22733-2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. 22 с.

**Kalachuk T.G.**

### PECULIARITIES OF COMPACTION OF SOILS WITH COAGULATIVE STRUCTURE TYPE

*The article presents the findings of researching the shearing of certain soils with the purpose of studying the dependence between the stress and shearing deformation, and the identified factors, which influence the compaction regularities of soils and materials of coagulative structure type.*

**Key words:** soil, shear, compaction, relative humidity, deformations, dependence.

**Калачук Татьяна Григорьевна**, кандидат технических наук доцент, кафедра городского кадастра и инженерных изысканий

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

E-mail: tatyana.kalachuk@yandex.ru