

УДК 624.15.001

Крысан В.В., Нестерова Е.И., инж, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, Причина Е.С., асп., Государственный ВУЗ "НГУ", г. Днепропетровск, Марченко В.И., Полтавский университет им. Ю. Кондратюка, г. Полтава, Украина

К ВОПРОСУ АДЕКВАТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОНАСЫЩЕННОГО ГЛИНИСТОГО ГРУНТА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами. Учет необратимости деформаций грунта необходим при расчете деформаций оснований, находящихся под воздействием циклической и динамической нагрузки. При написании настоящей статьи нами преследовалась цель выявить наиболее приемлемые для этой цели модели грунтовых оснований и методики определения входящих в них материальных констант.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых положено начало решению данной проблемы. В. А. Флориным и Ю. К. Зарецким для описания ползучести грунтов было предложено использовать уравнения Вольтерра с разностным ядром [1, 2, 3, 4, 7, 8]. Недостатком этого подхода является возможность учета только упругих и вязких деформаций грунта [2, 5, 8].

На наш взгляд, заслуживает внимания опыт использования авторами работы [9] уравнений Вольтерра второго рода с составным ядром ползучести для одновременного учета упругих, вязких и пластических деформаций и их трансформации во времени. При этом заслуживают внимания методики [10, 11] определения входящих в модель [9] материальных констант.

Выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена данная статья. В настоящей работе представлены результаты обработки данных компрессионных испытаний водонасыщенного глинистого грунта различными методами с целью определения входящих в модель материальных констант.

При этом преследовалась цель сопоставить полученные в рамках различных моделей грунта кривые «осадка – время» и «осадка – нагрузка» друг с другом и экспериментальными зависимостями.

Изложение основного материала исследования. В ходе компрессионных испытаний глинистой пасты в компрессионном приборе (высота кольца $h = 35$ мм; диаметр $D = 71$ мм) водонасыщенного глинистого грунта ступенчато - возрастающей нагрузкой (рис. 1) регистрировались зависимости "осадка - время". Эти зависимости представлены на рисунке 2.

Обработка экспериментальных данных выполнялась в такой последовательности. Вначале с использованием общепринятой методики [12] нами были установлены деформационные свойства водонасыщенного упругого основания и его реологические свойства.

Далее аналогичные исследования были выполнены с использованием изложенной [10] методики. При этом в качестве расчетной была принята модель упругопластичного водонасыщенного основания.

После этого были рассчитаны соответствующие нагрузке на рис. 1 теоретические зависимости "осадка - время".

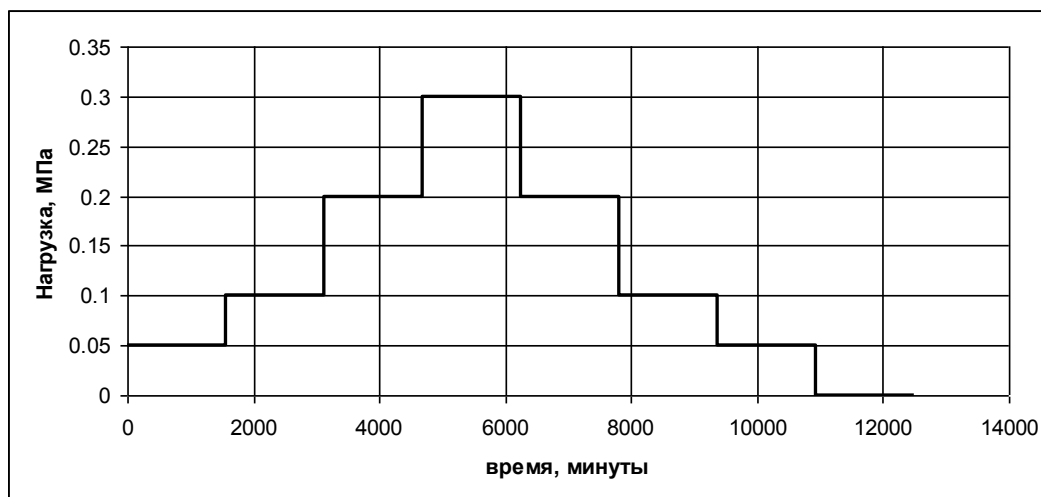


Рисунок 1 – Зависимость "осадка - нагрузка", принятая в ходе испытаний грунта.

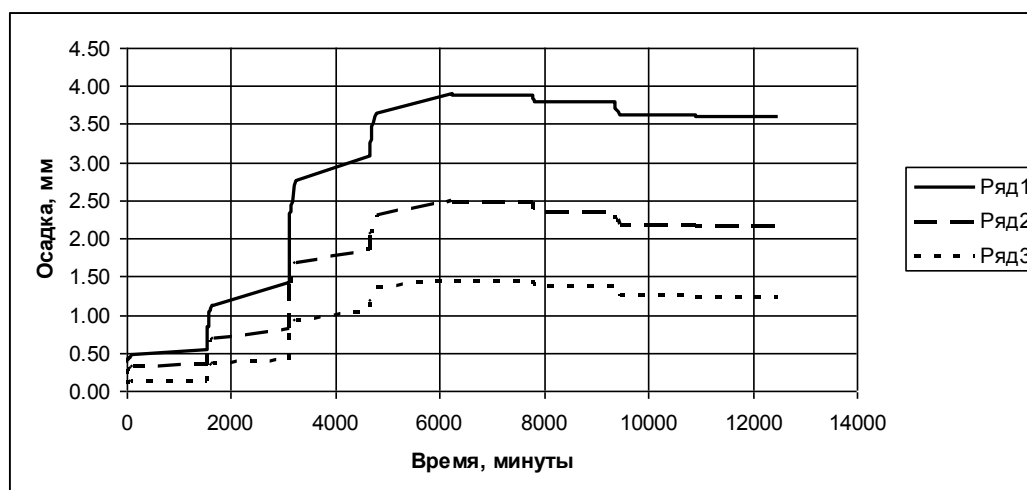


Рисунок 2 – Экспериментальные зависимости "осадка - нагрузка".

Полученные в ходе обработки экспериментальных кривых материальные константы, соответствующие модели водонасыщенного упругого основания, представлены в таблице 2.

При этом для определения модуля компрессионного сжатия a_k была использована известная формула [2, 3]:

$$S_{st} = q \cdot \frac{h}{a_k} = q \cdot \frac{h}{\lambda + 2 \cdot G} = q \cdot \frac{h}{E} \cdot \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu} \quad (1)$$

Здесь S_{st} - стабилизированная осадка образца; q - приложенная к нему нагрузка; h - высота образца; $a_k = \lambda + 2 \cdot G$ - модуль компрессионного сжатия грунта; λ и G - упругие константы Ламе; E модуль общей деформации грунта, а ν - коэффициент Пуассона грунта.

Компрессионный модуль общей деформации грунта определялся по ветви загрузки, а компрессионный модуль упругости - по ветви разгрузки образца.

Коэффициент Пуассона согласно рекомендациям [12] принимался равным $\nu = 0,35$, а модуль общей деформации E определялся по формуле:

$$E = a_k \cdot \frac{1 - \nu}{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2} \quad (2)$$

Таблица 2

Модель упругого водонасыщенного основания. Материальные константы

№ п/п	Наименование характеристики	Обозначение	Ед. изм.	Удельный вес сухого грунта, $\frac{\kappa H}{M^3}$		
				14,6	15,2	15,8
1	Компрессионный модуль общей деформации	a_k	МПа	2,67	4,35	9,02
2	Компрессионный модуль упругости	a_k^y	МПа	35,0	31,0	45,7
3	Коэффициент Пуассона	ν	д.ед.	0,35	0,35	0,35
4	Модуль общей деформации грунта	E	МПа	3,28	5,36	11,11
5	Модуль упругости грунта	E^y	МПа	43,12	38,05	56,25
6	Коэффициент фильтрационной консолидации	c_k	$\frac{M^2}{год}$	0,35	0,43	0,78
7	Коэффициент фильтрации	k_ϕ	$\frac{CM}{сек}$	$1,05 \cdot 10^{-7}$	$7,52 \cdot 10^{-8}$	$6,61 \cdot 10^{-8}$

Коэффициент консолидации c_k определялся методом Казагранде с использованием формулы вида:

$$c_k = 0,049 \cdot \frac{h^2}{t_{50}}, \quad (3)$$

где c_k , а t_{50} - время достижения степенью консолидации 50%.

После этого по формуле

$$k_\phi = c_k \cdot \frac{\gamma_w}{a_k}, \quad (4)$$

где γ_w - удельный вес воды, определялся коэффициент фильтрации грунта.

В ходе определения материальных констант грунта в рамках модели водонасыщенного упругопластического основания ядро ползучести грунта принималось в виде

$$K(\tau) = \sum_{i=1}^9 \gamma_i \cdot \exp(-\gamma_{1,i} \cdot \tau), \quad (5)$$

где τ - имеющий размерность времени параметр, а γ_i и $\gamma_{1,i}$ имеющие размерность $\frac{1}{\text{сутки}}$ параметры ползучести.

Согласно [9] для упругопластического грунта зависимость осадки от времени имеет вид:

$$S(t) = S^{\phi}(t) + \int_0^t S^{\phi}(\tau) \cdot K(\tau) \cdot d\tau, \quad (6)$$

где $S(t)$ - осадка образца в момент времени t ; $S^{\phi}(t)$ - то же, обусловленная фильтрационной консолидацией.

В свою очередь, согласно [4], для каждой из ступеней нагрузки обусловленная фильтрационной консолидацией осадка образца определялась по формуле

$$S^{\phi}(t) = \frac{8}{\pi^2} \cdot \sum_{i=1}^n U(t-t_j) \left\langle \frac{\Delta q_j \cdot h}{a_k^y} \cdot \sum_{i=1,3,5\dots}^{\infty} \frac{1}{i^2} \cdot \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{i^2 \cdot \pi^2 \cdot c_k}{h^2} \cdot \begin{pmatrix} t - \\ -t_j \end{pmatrix} \right] \right\} \right\rangle \quad (7)$$

где t_j - момент времени, в который к образцу приложена очередная ступень нагрузки Δq_j , а $U(t-t_j)$ - ступенчатая функция Хевисайда [9].

Далее был выполнен контроль полученных в рамках различных моделей основания материальных констант. Для этого с использованием представленных в таблице 2 данных и формул (6) и (7) нами были построены теоретические зависимости осадок образцов от времени.

Для удобства анализа этих данных они были представлены в графической форме (рис. 3). При этом рисунке также представлены экспериментальные кривые.

Изложенные в настоящей статье материалы исследований позволили нам сделать такие выводы.

1. Установленные различными методами значения упругих констант грунта близки между собой.

2. Установленные различными методами значения коэффициента консолидации грунта близки между собой.

3. Установленные различными методами значения коэффициента фильтрации грунта близки между собой.

4. Установленные различными методами значения материальных констант грунта имеют хорошее соответствие с их значениями для суглинков [3, 7, 8, 12].

5. Рассчитанные в рамках модели упругого водонасыщенного основания осадки (кривые 1 на рисунках 3...5) существенно отличаются от экспериментальных (кривые 3 на рисунках 3...5). При этом наибольшее различие имеет место в области разгрузки.

6. Рассчитанные в рамках модели упругопластического водонасыщенного основания осадки (кривые 2 на рисунках 3...5) близки к экспериментальным (кривые 3 на рисунках 3...5). При этом наибольшее различие имеет место в момент изменения нагрузки на образец. Это обусловлено тем, что в начальный момент времени обусловленные фильтрационной консолидацией осадки грунтового образца равны нулю.

Последнее, в свою очередь, не дает проявиться мгновенным пластическим деформациям грунта. Следует отметить, что в случае пространственной задачи имеет более полное

чем при компрессии соответствие рассчитанных в рамках модели упругопластичекого водонасыщенного основания и экспериментальных кривых. Это объясняется тем, что в данном случае имеется возможность проявления мгновенных пластических деформаций сдвига.

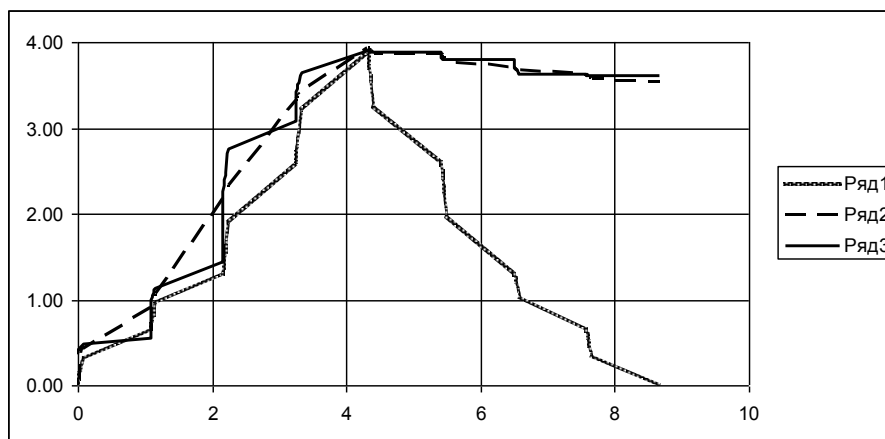


Рисунок 3 – Зависимости осадки грунтового образца от времени. Плотность сухого

$$\text{грунта } \gamma_d = 14,6 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}.$$

Ряды 1 и 2 - теория; ряд 3 - эксперимент. Ряд 1 - модель упругого водонасыщенного основания; ряд 2 - модель упругопластичекого водонасыщенного основания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вольтерра В. Теория функционалов, интегральных и интегро-дифференциальных уравнений. – М.: Наука, 1982.-304 с.
2. Зарецкий Ю.К. Теория консолидации грунтов. - М.: Наука. 1967 - 270 с.
3. Зарецкий Ю.К. Лекции по современной механике грунтов. -Ростов на Дону, 1989 - 608 с.
4. Корн Г. и Корн Т. Справочник по математике. - М.: Наука, 1974. - 840 с.
5. Кристиансен Р. Введение в теорию вязкоупругости. - М.: Мир, 1974. - 338 с.
6. Физическая энциклопедия. /Гл. ред. А.М. Прохоров. Ред. кол. Д.М. Алексеев, А.М. Балдин, А.М. Бонч-бруевич, А.С. Боровик-Романов и др. – М.: Большая Российская энциклопедия. Т. 3. Магнитоплазменный – Пойнтинга теорема. 1992 – 672 с.
7. Флорин В.А. Основы механики грунтов, т.1. - Л.-М.: Госстройиздат, 1959. - 357 с.
8. Флорин В.А. Основы механики грунтов, т. 2. - Л.-М.: Гостройиздат, 1961. - 543 с.
9. Шаповал А.В., Шаповал В.Г. Теория взаимосвязанной фильтрационной консолидации: Монография. - Днепропетровск: Пороги, 2009-311 с.
10. Шаповал А.В., Шаповал В.Г., Крысан В. В., Нестерова Е.В. Винников Ю.Л., Марченко В.И. К вопросу моделирования упруговязкопластического поведения грунта под изменяющейся во времени нагрузкой.//Достижения, проблемы и перспективные направления развития для теории и практики механики грунтов и фундаментостроения. XIII международный симпозиум по реологии грунтов. Казань. С. 27-33.
11. Шаповал В.Г. Ускоренное определение реологических свойств водонасыщенных глинистых оснований: Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Днепропетровск, 1984. - 179 с.
12. Швец В.Б., Гинзбург Л.К., Гольдштейн В.М. и др.: Справочник по механике и динамике грунтов: - К.: Будівельник, 1987. – 232 с.