

Черныш А. С., канд. техн. наук.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ИЗМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОРИСТОСТИ НЕВОДОНАСЫЩЕННЫХ (ЛЕССОВЫХ) ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ВО ВРЕМЕНИ ПРИ ОДНОМЕРНОМ УПЛОТНЕНИИ

gkadastr@mail.ru

Просадочные грунты имеют широкое распространения в южных районах территории Российской Федерации. Строительство на просадочных грунтах имеет некоторые особенности выделенные в различные мероприятия реализуемые при строительстве. Основным принципом строительства на просадочных грунтах является учет осадок при возможном замачивании грунта, однако замачивания зачастую не происходит, а осадка фундамента является значительной. Величина осадки зависит от начальных характеристик грунта, и в частности коэффициента пористости. Традиционные методы расчета осадки в данном случае не дают достаточно точных результатов, поскольку модуль деформации определяют без учета длительного нагружения. В данной статье рассматриваются вопросы связанные с прогнозом осадки при длительном нагружении.

**Ключевые слова:** просадочные суглинки, деформация, относительная деформация, коэффициент пористости, коэффициент вязкости, длительное нагружение.

При действии внешних нагрузок уменьшается объем грунта, и соответственно изменения коэффициента пористости его во времени.

Осадку подобного рода сооружений во многих случаях бывала значительной, неравномерной и, что особенно важно весьма длительной. Целесообразно ещё при проектировании таких сооружений проектировать их осадку, причем обязательно во времени.

При малом водонасыщении рассматриваемых грунтов их уплотнение во времени происходит вне условий возможного влияния на процесс явления фильтрационной консолидации. Вместе с тем развитие процесса уплотнения таких грунтов под постоянной нагрузкой во времени и часто в весьма замедленном темпе, невольно заставляет рассматривать этот процесс в связи с реологическими свойствами, присущими вообще глинистым грунтам.

Представлялось также желательным связать формулы по прогнозу осадки сооружений, возводимых в рассматриваемых условиях, непосредственно с теми или иными физическим показателями грунтов в их естественно ненарушенном состоянии (с ненарушенной структурой).

Известна зависимость коэффициента пористости и давлением, характеризующая изменение коэффициента пористости при изменении давления которое выражается в виде:

$$\varepsilon(p) = \varepsilon_0 - \frac{y}{h}(1 + \varepsilon_0), \quad (1)$$

где  $\varepsilon_0$  – начальное значения коэффициента пористости грунта;  $y$  – величина деформации образца грунта;  $h$  – высота образца.

Следует отметить, что в формуле (1) фактор времени не учитывается. Практика строительства показывает, что глинистые грунты, нахо-

дятся в основании фундаментов зданий и сооружений изменяют свои физико-механические свойства во времени от постоянно действующих нагрузок. Поэтому представляет большой интерес изучении вопросов изменения коэффициента пористости неводонасыщенных глинистых грунтов во времени при постоянной нагрузке.

Учитывая вышесказанное, выражение (1) можно представить в виде:

$$\varepsilon(P, t) = \varepsilon_0 - \frac{y(P, t)}{h}(1 + \varepsilon_0), \quad (2)$$

здесь  $\frac{y(P, t)}{h} = e(P, t)$  – относительная деформация образца грунта на время  $t$ , относящаяся к нагрузке  $P$ .

Тогда получим:

$$\varepsilon(P, t) = \varepsilon_0 - e(P, t) \cdot (1 + \varepsilon_0), \quad (2')$$

Для разработки поставленного вопроса были проведены экспериментальные работы в глинистых грунтах в неводонасыщенном состоянии. Физические показатели этих грунтов приведены в табл.1.

Для исследования закономерности деформации сжатия грунтов во времени применительно к условиям одномерной задачи уплотнения были использованы приборы типа «Гидропроект».

Для предохранения образцов грунта от потери влажности во время длительного испытания цилиндрический корпус приборов покрывался полиэтиленовой пленкой с обеспечением герметичности внутренней полости, где помещался образец грунта. Эти условия обеспечивали постоянство влажностного режима во время длительного опыта, отсчеты деформации образцов исследуемого образца грунта замерялись индикаторами с точностью до 0,01 мм и брались ежедневно в одно и то же время.

Таблица 1

## Физические показатели грунтов

Наименование показателей	Опыт №1	Опыт №2
Гранулометрический состав (процентное содержание фракций, мм)		
0,50-0,25	4,5	3
0,25-0,10	10,5	7,5
0,10-0,05	15	19,5
0,05÷0,01	14,5	20,5
0,01-0,005	24,5	21,0
0,005÷0,001	14	18,0
<0,001	17,0	10,5
Естественная влажность, д.е.	0,118	0,114
Гигроскопическая влажность, д.е.	0,289	0,221
Максимальная молекулярная влажность	16,43	15,97
Степень влажности	0,374	0,314
Плотность частиц грунта, г/см <sup>3</sup>	2,71	2,72
Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	1,72	1,57
Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	1,46	1,38
Пористость, %	46,1	49,6
Коэффициент пористости предела прочности	0,856	0,985
а) граница текучести, д.е.	0,312	0,359
б) граница раскатывания, д.е.	0,164	0,1605
в) число пластичности, д.е.	0,148	0,1985

На основе экспериментальных данных построены графики  $e(p,t) = f(t)$ .

Для практических целей можно принять, что кривые изменения относительной деформации во времени под различными постоянными нагрузками взаимоподобны и все описываются единым законом. В этом случае изменение относительной деформации во времени неводонасыщенного глинистого грунта при любом напряжении можно представить в следующем виде:

$$e(P,t) = f(P) \cdot \varphi(t), \quad (3)$$

здесь  $f(P)$  – функции напряжения были приняты линейно, т.е.  $f(P) = P$ ;  $\varphi(t)$  – изменение относительной деформации образца грунта при единичной нагрузке («меры ползучести»).

Произведенная математическая аппроксимация показала, что изменение относительной деформации образцов исследованного грунта во времени выражается по обменному закону в виде [1]:

$$e(P,t) = P \cdot \alpha t^\beta, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – параметр, равный отрезку, отсекаемому кривой деформации ползучести грунта на оси ординат при  $t = 1$  и  $P = 1$ ;  $\beta$  – угол наклона кривой  $lg e(P,t) - lgt$  к оси абсцисс; изменяющейся в пределах  $0 < \beta < 1$ .

Если принять  $P = 1$ , то получим

$$e(P=1,t) = \alpha t^\beta, \quad (5)$$

Учитывая выражение (5) в формуле (2), по-

$$\varepsilon(P=1,t) = \varepsilon_0 - (1 + \varepsilon_0) \left[ \frac{t}{\eta_{\dot{\varepsilon}ii}} + \frac{1}{\mu \eta_{\dot{\varepsilon}ii}} \ln \frac{\eta_{\dot{\varepsilon}ii} - (\eta_{\dot{\varepsilon}ii} - \eta_{\dot{\varepsilon}i\pm}) e^{-\mu t}}{\eta_{\dot{\varepsilon}i\pm}} \right], \quad (8)$$

лучим зависимость между изменением коэффициента пористости и временем неводонасыщенного глинистого грунта в виде:

$$e(P=1,t) = \varepsilon_0 - \alpha t^\beta, \quad (6)$$

Следует отметить, что изменение относительной деформации неводонасыщенного глинистого грунта можно выразить изменением коэффициента вязкости грунта.

На основе проведенных экспериментальных и теоретических анализов нами было установлено, что изменения и относительные деформации во времени неводонасыщенного глинистого грунта при единой нагрузке описывается следующей зависимостью:

$$e = (P=1,t) = \frac{t}{\eta_{кон}} + \frac{1}{\mu \eta_{кон}} \ln \frac{\eta_{кон} - (\eta_{кон} - \eta_{нач}) \cdot e^{-\mu t}}{\eta_{нач}}, \quad (7)$$

где  $\eta_{кон}$  – конечная величина коэффициента вязкости исследованного грунта;  $\eta_{нач}$  – начальная величина коэффициента вязкости грунта;  $\mu$  – параметр, характеризующий свойства испытываемых грунтов определяемый по выражению:

$$\mu = \frac{1}{t} \ln \frac{\eta_{кон} - \eta_{нач}}{\eta_{кон} - \eta(t)}, \quad (7')$$

Подставляя (7) в выражение (2') получим изменение коэффициента пористости во времени неводонасыщенных глинистых грунтов через коэффициент вязкости в виде:

Как видно из рис. 1, сопоставление экспериментальных (сплошная линия) и теоретических (пунктирная) кривых, полученных по выражению (8), дает хорошую сходимость.

ских (пунктирная) кривых, полученных по выражению (8), дает хорошую сходимость.

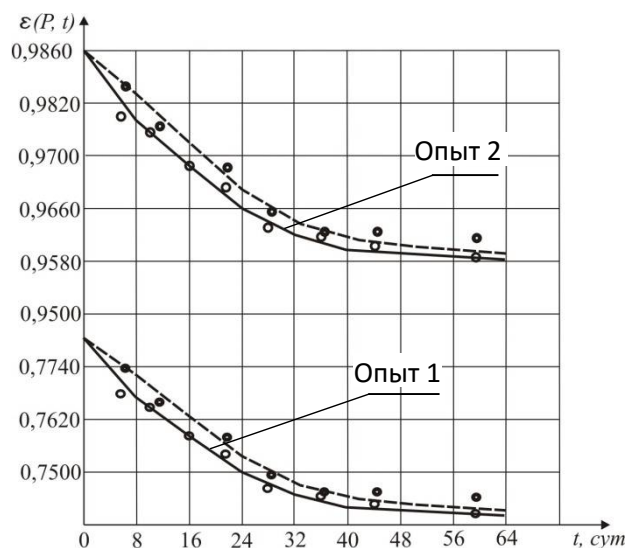


Рис. 1. Изменение коэффициента пористости неводонасыщенного грунта во времени

Дифференцируя выражение (8) по  $t$ , получим скорость изменения коэффициента пористости

стости образцов неводонасыщенных глинистых грунтов во времени:

$$\varepsilon(P=1, t) = \frac{d\varepsilon(P=1, t)}{dt} = - \frac{1 + \varepsilon_0}{\eta_{\text{еи}} - (\eta_{\text{еи}} - \eta_{\text{и\ddot{a}}})e^{-\mu t}}, \quad (9)$$

Как видно из выражений (8) и (9), изменение коэффициента пористости неводонасыщенного глинистого грунта во времени зависит от коэффициента вязкости, изменяющегося во времени и являющегося прямой физико-механической характеристикой грунта. Величина коэффициента вязкости глинистого грунта в том или ином виде его состояния может быть определена непосредственными опытами в лаборатории (метод «шарика») или косвенным путем на основании данных опытов по изучению деформируемости испытуемого грунта во времени в лабораторных условиях. Входящее в выражение (8) значение начального коэффициента вязкости  $\eta_{\text{нач}}$  определяется опытным путем, т.к. измеряется величина относительной деформации  $\Delta e_p$  – сжатие образца за начальный промежуток времени  $\Delta t$ . Затем, принимая изменение скорости относительной деформации образца за указанный период времени постоянным, определяем значение  $e_e$

ментального определения.

Величина  $\eta_{\text{кон}}$  может быть найдена по следующему выражению:

$$\frac{t_3 - t_2}{t_2 - t_1} = \frac{\ln[\eta_{\text{кон}} - \eta_3(t)] - \ln[\eta_{\text{кон}} - \eta_2(t)]}{\ln[\eta_{\text{кон}} - \eta_2(t)] - \ln[\eta_{\text{кон}} - \eta_1(t)]}, \quad (12)$$

Здесь величина коэффициентов вязкости  $\eta_1(t), \eta_2(t)$  соответствуют времени  $t_1, t_2$ , и  $t_3$  и значение их определяется экспериментальной кривой зависимости  $\eta(t) = f(t)$  на некотором участке её. В месте с тем  $\eta_{\text{кон}}$  может быть определена иным путем, в частности при соблюдении условия:  $\frac{t_3 - t_2}{t_2 - t_1} = 1,0$

Из выражения (12) получим:

$$\eta_{\text{кон}} = \frac{\eta_2^2(t) - \eta_1(t) \cdot \eta_3(t)}{2\eta_2(t) - \eta_1(t) - \eta_3(t)}, \quad (13)$$

При определении коэффициента вязкости на время  $t$  исследованного грунта были использованы методы «длительного опыта».

Для ориентировочного представления о пределах изменения коэффициента вязкости глинистых грунтов могут быть использованы следующие данные, приведенные Карауловой З.М. [2].

- Грунты в мягкопластичной консистенции  $a \cdot 10^{10} \div a \cdot 10^{12}$  пуаз;
- грунты в тугопластичной консистенции  $a \cdot 10^{12} \div a \cdot 10^{13}$  пуаз;
- грунты в полутвердой консистенции

$$\dot{e}_{\text{const}} = \frac{\Delta e_p}{\Delta t}, \quad (10)$$

Зная  $e_{\text{const}}$ , находим значение начального коэффициента вязкости исследованного грунта:

$$\eta_{\text{нач}} = \frac{P}{e_{\text{const}}}, \quad (11)$$

Значения коэффициента вязкости испытуемого грунта соответствует времени  $t = \infty$ , что исключает возможность его прямого экспери-

$a \cdot 10^{14} \div a \cdot 10^{15}$  пуаз;  
грунты в твердой консистенции  
 $a \cdot 10^{15} \div a \cdot 10^{17}$  пуаз.

Полученные нами в результате экспериментальных работ значения коэффициента вязкости исследованных грунтов при длительном уплотнении изменяются в пределах  $a \cdot 10^{14} \div a \cdot 10^{16}$  пуаз.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цытович Н.А. Механика грунтов. М., 1963.
2. Караулова З.М. Порог ползучести и коэффициент вязкости глинистых грунтов // Труды координационных совещаний по гидротехнике. Л.: Энергия, Ленинградское отделение, 1968. Вып. 38. С. 120-130.

---

**Chernysh A.S.**

### **CHANGING THE WATER-SATURATED POROSITY (LOESS) CLAY SOILS OVER TIME AT A ONE-DIMENSIONAL COMPACTION**

*Subsiding soils are widespread in the southern regions of the Russian Federation. Building on subsiding soils have some of the features highlighted in the various activities implemented during construction. The basic principle of building on subsiding soils is the account of the precipitate with the possible soaking the soil, but often there is no soaking and foundation settlement is significant. The value depends on the initial precipitation characteristics of the ground, and in particular the porosity factor. Traditional methods of calculating the rainfall in this case do not provide sufficiently accurate results because the modulus of deformation is determined without regard to long-term loading. This article discusses the issues associated with the forecast rainfall with prolonged loading.*

**Key words:** loam subsidence, deformation, relative deformation, porit coefficient, viscosity coefficient, long-term loading.

---

**Черныш Александр Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры городского кадастра и инженерных изысканий.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

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

E-mail: gkadastr@mail.ru