

УДК 624.131

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАБУХАЮЩИХ ГЛИН ПРИ ЗАМАЧИВАНИИ

С. Г. АЙРОЯН*

Кафедра гидрогеологии и инженерной геологии ЕГУ, Армения

Работа посвящена проблемам сдвиговой ползучести набухающих глин. Экспериментальными исследованиями установлено, что соотношение степени мобилизации водноколлоидального сцепления и скоростей установившейся ползучести практически постоянная величина.

Keywords: swelling clays, ratio of liquefaction coefficient, natural slopes deformation forecast, viscosity factor.

Прогноз деформаций естественных склонов и откосов во времени, подпорных сооружений, воспринимающих сдвигающие нагрузки и возведенных на глинистых грунтах, с учетом изменения их физического состояния вследствие набухания является одной из важнейших и сложных проблем. При замачивании глинистых массивов вследствие набухания изменяется плотность-влажность грунтов по высоте, безусловно изменяются и их параметры сопротивления сдвигу и реологические свойства. Одним из расчетных реологических показателей при выполнении прогноза длительного деформирования является коэффициент вязкости глинистого грунта (η). Для прогноза сдвиговой ползучести необходимо установить основные соотношения и зависимости, характеризующие деформацию сдвиговой ползучести под воздействием касательных и нормальных напряжений во времени.

Целью настоящей работы является установление зависимости между показателем сцепления водноколлоидальной природы (Σw) и коэффициентом вязкости, рассчитанным для периода установившейся ползучести (течения). Экспериментальные исследования сопротивления сдвигу и сдвиговой ползучести проводились на набухающих глинах, отобранных из тела земляной плотины Адуана, находящейся в Сирийской Арабской Республике. Всего были испытаны две серии образцов-близнецов с различной плотностью-влажностью. Основные показатели водно-физических свойств этих грунтов приведены в табл.1.

Перед испытанием сдвиговой ползучести грунтов были определены стандартные сопротивления сдвигу. После стабилизации деформации уплотняющего

* E-mail: hairoyan@ysu.am

давления каждая серия образцов была подвергнута полному водонасыщению. Результаты испытаний стандартного сопротивления сдвигу приведены в табл. 2.

Методом повторного кручения установлено, что жесткие структурные сцепления отсутствуют ($C_c=0$) и имеют водноколлоидальную природу.

Таблица 1

Показатели водно-физических свойств грунтов

Образец №	Влажность, W	Плотность, $\rho, \text{г/см}^3$	Плотность твердых частиц, $\rho_s, \text{г/см}^3$	Плотность скелета, $\rho_b, \text{г/см}^3$	Коэффициент пористости, e	Пластичность			Показатель консистенции, I_L	Коэффициент водонасыщения, S_r	Давление набухания, $\sigma_{sw}, \text{МПа}$
						верхн. предел, W_L	нижн. предел, W_P	число, I_P			
1	0,40	1,83	2,76	1,31	1,11	0,699	0,388	0,311	0,039	0,994	0,200
2	0,56	1,68	2,76	1,08	1,56	0,699	0,388	0,311	0,553	0,991	0,025

Таблица 2

Результаты испытаний стандартного сопротивления сдвигу

Образец №	Сопротивление сдвигу, $\tau_{cm}, \text{МПа}$			Показатели параметров сопротивления сдвигу	
	при уплотняющем давлении, $\sigma, \text{МПа}$			$\text{tg } \varphi$	$C_c, \text{МПа}$
	0,05	0,1	0,3		
1	0,075	0,0805	0,1050	0,175	0,0625
	0,069	0,0785	0,120		
	0,070	0,080	0,120		
2	0,050	0,065	0,1225	0,270	0,0400
	0,0538	0,0675	0,129		
	0,0567	0,0685	0,115		

Испытания на сдвиговую ползучесть проводились для образца № 1 при уплотняющем давлении $\sigma = 0,3 \text{ МПа}$ и трех постоянных значениях касательных напряжений: $\tau = 0,0760 \text{ МПа}$ ($\tau/\tau_{cm} = 0,661$); $\tau = 0,0920 \text{ МПа}$ ($\tau/\tau_{cm} = 0,800$); $\tau = 0,1050 \text{ МПа}$ ($\tau/\tau_{cm} = 0,910$); для образца № 2 – $\sigma = 0,1 \text{ МПа}$: $\tau = 0,0402 \text{ МПа}$ ($\tau/\tau_{cm} = 0,600$); $\tau = 0,0489 \text{ МПа}$ ($\tau/\tau_{cm} = 0,730$); $\tau = 0,0590 \text{ МПа}$ ($\tau/\tau_{cm} = 0,880$).

Результаты испытаний сдвиговой ползучести для двух различных образцов приведены в табл. 3 и 4, а экспериментальные кривые ползучести – на рисунке. Анализ приведенных на рис. А, а и Б, а кривых ползучести показывает, что период неустановившейся ползучести кратковременен и основная деформация грунтов определяется незатухающей установившейся ползучестью. По методу Эндрайде кривые ползучести представлены в виде затухающей и установившейся ползучести (течения).

Семейства экспериментальных кривых затухающей ползучести и течения приведены на рис. А, б, в и Б, б, в.

В настоящей работе для анализа проявления ползучести была использована теория Н. Маслова [1–3], согласно которой процесс установившейся ползучести находит свое выражение при условии $\sigma \text{tg} \varphi + C_c + \Sigma w > \tau > \sigma \text{tg} \varphi + C_c$. Из этого критерия следует, что установившаяся ползучесть обусловлена мобилизацией

сцепления водноколлоидальной природы (Σw), которая обуславливает пластические свойства глинистых грунтов.

Таблица 3

Результаты испытаний сдвиговой ползучести для образца № 1

t, сут.	Деформации сдвиговой ползучести при								
	$\tau = 0,0760$ ($\tau/\tau_{cm} = 0,661$)			$\tau = 0,0920$ ($\tau/\tau_{cm} = 0,800$)			$\tau = 0,1050$ ($\tau/\tau_{cm} = 0,910$)		
	Общая ползучесть, γ_t	Загужающая ползучесть, γ_{dt}	Установивш. ползучесть, γ_{vr}	Общая ползучесть, γ_t	Загужающая ползучесть, γ_{dt}	Установивш. ползучесть, γ_{vr}	Общая ползучесть, γ_t	Загужающая ползучесть, γ_{dt}	Установивш. ползучесть, γ_{vr}
1	0,0067	0,0064	0,0003	0,0133	0,0129	0,0004	0,0275	0,0270	0,0005
2	0,0116	0,0111	0,0005	0,0189	0,0183	0,0006	0,0355	0,0346	0,0009
4	0,0157	0,0148	0,0009	0,0235	0,0221	0,0014	0,0415	0,0396	0,0019
6	0,021	0,0196	0,0014	0,028	0,0258	0,0022	0,0460	0,0432	0,0028
8	0,0245	0,0227	0,0018	0,0330	0,0301	0,0029	0,0520	0,0483	0,0037
10	0,025	0,0228	0,0022	0,0370	0,0331	0,0039	0,0529	0,0483	0,0046
12	0,0254	0,0228	0,0026	0,0377	0,0331	0,0046	0,0538	0,0483	0,0055
14	0,0259	0,0228	0,0031	0,0382	0,0331	0,0051	0,0548	0,0483	0,0065
16	0,0262	0,0228	0,0034	0,039	0,0332	0,0058	0,0557	0,0483	0,0074
18	0,0268	0,0228	0,0040	0,0396	0,0332	0,0064	0,0568	0,0483	0,0085
20	0,0272	0,0228	0,0044	0,0403	0,0332	0,0071	0,0575	0,0483	0,0092
22	0,0275	0,0228	0,0047	0,0412	0,0332	0,0080	0,0584	0,0483	0,0101
24	0,0281	0,0228	0,0053	0,0420	0,0332	0,0087	0,0594	0,0483	0,0111

Таблица 4

Результаты испытаний сдвиговой ползучести для образца № 2

t, сут.	Деформации сдвиговой ползучести при								
	$\tau = 0,0402$ ($\tau/\tau_{cm} = 0,600$)			$\tau = 0,04890$ ($\tau/\tau_{cm} = 0,730$)			$\tau = 0,0590$ ($\tau/\tau_{cm} = 0,880$)		
	Общая ползучесть, γ_t	Загужающая ползучесть, γ_{dt}	Установивш. ползучесть, γ_{vr}	Общая ползучесть, γ_t	Загужающая ползучесть, γ_{dt}	Установивш. ползучесть, γ_{vr}	Общая ползучесть, γ_t	Загужающая ползучесть, γ_{dt}	Установивш. ползучесть, γ_{vr}
1	0,0087	0,0085	0,0002	0,0116	0,0113	0,0003	0,0262	0,0258	0,0004
2	0,0112	0,0108	0,0004	0,0166	0,0160	0,0006	0,0344	0,0335	0,0009
4	0,0157	0,0149	0,0008	0,0209	0,0197	0,0012	0,0374	0,0357	0,0017
6	0,0195	0,0183	0,0012	0,0249	0,0231	0,0018	0,0417	0,0391	0,0026
8	0,0207	0,0191	0,0016	0,0277	0,0252	0,0025	0,0469	0,0434	0,0035
10	0,0224	0,0204	0,0020	0,0290	0,026	0,0030	0,0487	0,0440	0,0047
12	0,0227	0,0202	0,0025	0,0301	0,0265	0,0036	0,0495	0,0440	0,0055
14	0,0231	0,0202	0,0029	0,0310	0,0267	0,0043	0,0503	0,0440	0,0063
16	0,0234	0,0202	0,0032	0,0316	0,0268	0,0048	0,0510	0,0440	0,0070
18	0,0238	0,0202	0,0036	0,0322	0,0268	0,0054	0,0519	0,0440	0,0079
20	0,0243	0,0202	0,0041	0,0329	0,0268	0,0061	0,0528	0,0440	0,008
22	0,0246	0,0202	0,0044	0,0334	0,0268	0,0066	0,0538	0,0440	0,0098
24	0,0252	0,0202	0,0050	0,0340	0,0268	0,0072	0,0547	0,0440	0,0107

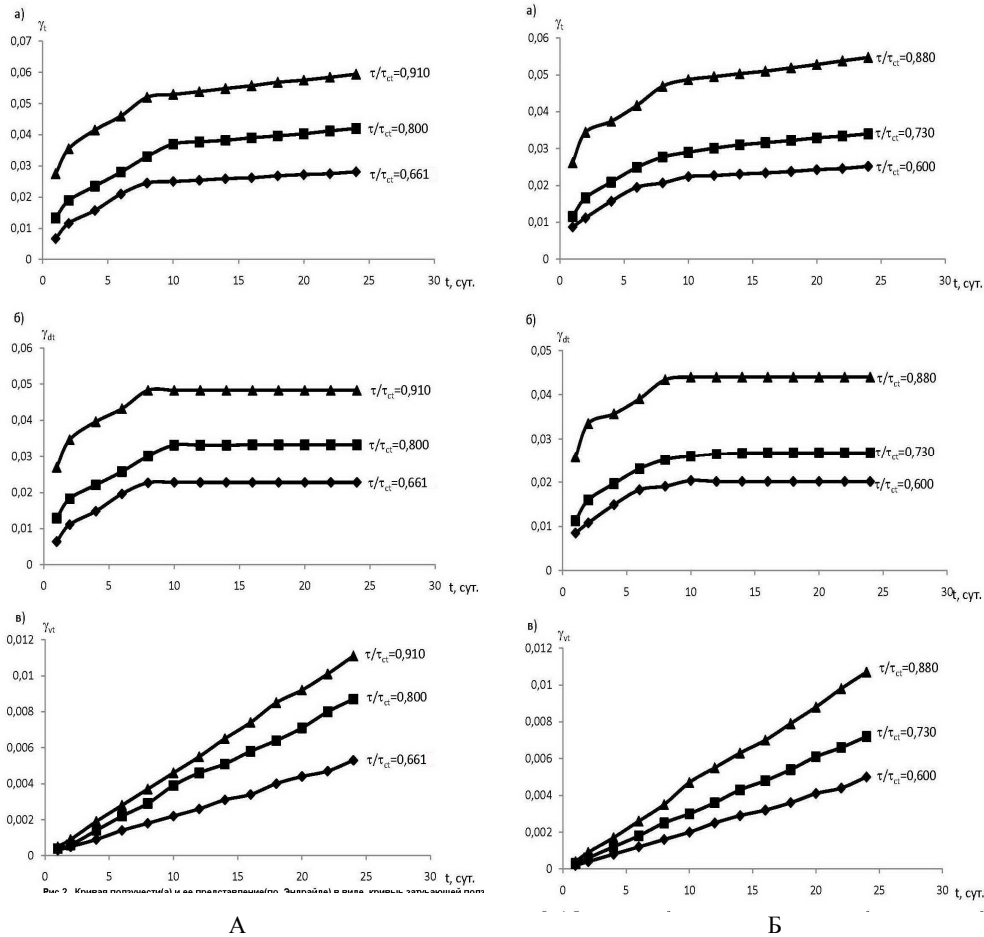


Рис. 2. Кривые ползучести и ее представления в виде: а) эксперимент в виде кривых затухающей ползучести; б) в виде кривых затухающей ползучести; в) в виде кривых течения с постоянной скоростью

Семейство экспериментальных кривых сдвиговой ползучести (а), их представление в виде семейств кривых затухающей ползучести (б) и течения с постоянной скоростью (в): А – при $\sigma = 0,3 \text{ МПа}$; Б – при $\sigma = 0,1 \text{ МПа}$.

Для описания процессов установившегося деформирования ползучести грунтов были использованы показатели степени мобилизации сцепления водно-коллоидальной природы

$\frac{\tau - \tau_{yp}}{\Sigma W}$ с учетом теории Н. Маслова: $\gamma_{vt} = \frac{\tau - \tau_{yp}}{\Sigma W \cdot \eta_v} t$ или

$\gamma_{vt} = \frac{\tau - \tau_{yp}}{\eta_v} t$, где γ_{vt} – деформация установившейся ползучести; $\tau_{yp} = \sigma \operatorname{tg} \varphi$ – порог ползучести; η – коэффициент вязкости; t – время; η_v – относительный коэффициент вязкости; τ – касательное напряжение.

Для трех значений касательных напряжений и степени мобилизации сцепления водноколлоидальной природы определены скорости относительных деформаций в течение 24 суток. Результаты приведены в табл. 5, а кривые зависимостей

$$V_{vt} = f\left(\frac{\tau - \tau_{yp}}{\Sigma W}\right) \quad \text{и} \quad V_{vt} = f(\tau - \tau_{yp}) \quad (1)$$

– на рис. А, в и Б, в.

Таблица 5

Результаты определения скорости относительных деформаций

Образец №	Скорость течения, V_{vt} , 1/сут.	Степень мобилизации водноколл. сцепления, $(\tau - \tau_{yp})/\Sigma w$	Касательные напряжения, τ , МПа	Касательные напряжения, мобилиз. на установившейся ползучести, $\tau - \tau_{yp}$, МПа
1	0,00022	0,467	0,076	0,0292
	0,00036	0,723	0,0920	0,0452
	0,00046	0,931	0,1050	0,0582
2	0,00020	0,405	0,0402	0,0162
	0,00030	0,623	0,0489	0,0229
	0,00044	0,875	0,0590	0,0350

Порог ползучести определен из зависимости $V_{vt} = f(\tau)$. Для образца № 1 эта зависимость имеет следующий вид: $V_{vt} = 0,00079\tau - 0,00037$ (из условия $V_{vt} = 0$, порог ползучести $\tau_{yp} = 0,0468$ МПа). Для образца № 2 получено $V_{vt} = 0,00124\tau - 0,000297$ (из условия $V_{vt} = 0$, порог ползучести $\tau_{yp} = 0,024$ МПа).

Коэффициент вязкости (η) и относительный коэффициент вязкости (η_v) определены из зависимостей $V_{vt} = f(\tau - \tau_{yp})$ и $V_{vt} = f\left(\frac{\tau - \tau_{yp}}{\Sigma w}\right)$:

для образца № 1:

$$V_{vt} = 0,009523(\tau - 0,0468), \quad (2)$$

$$V_{vt} = 0,000521(\tau - 0,0468)/0,0625; \quad (3)$$

для образца № 2:

$$V_{vt} = 0,012620(\tau - 0,0240), \quad (4)$$

$$V_{vt} = 0,00052(\tau - 0,0240)/0,0400. \quad (5)$$

Из условий (2) и (4) получено соответственно:

$$\eta_1 = (\tau - 0,0468) / V_{vt} = 9,1 \times 10^6 \text{ МПа}\cdot\text{с}; \quad \eta_2 = (\tau - 0,0240) / V_{vt} = 6,8 \times 10^6 \text{ МПа}\cdot\text{с}.$$

Из условий (3) и (5) получено соответственно:

$$\eta_1 = \frac{\tau - 0,0468}{0,625} \cdot \frac{1}{V_{vt}} = 1919,4; \quad \eta_2 = \frac{\tau - 0,0240}{0,0400} \cdot \frac{1}{V_{vt}} = 1953,1.$$

Сопоставление полученных параметров для образцов №№ 1 и 2 показывает, что соотношение степени мобилизации водноколлоидального сцепления и их соответствующих скоростей установившейся ползучести, независимо от физического состояния (плотности-влажности) грунта, практически является

постоянной величиной, т.е. $\frac{\tau - \tau_{yp}}{\Sigma w \cdot V_{vt}} = \text{const}$.

Так как $\eta = (\tau - \tau_{yp}) / V_{vt}$, то следует, что $\eta / \Sigma w = \text{const}$, т.е. отношение коэффициента вязкости и водноколлоидального сцепления для данного грунта, независимо от его физического состояния (плотности-влажности), практически является постоянной величиной.

Поступила 13.12.2013

ЛИТЕРАТУРА

1. **Маслов Н.Н.** Материалы совещания по вопросам изучения оползней и мер борьбы с ними. Киев: Изд-во КРУ, 1964, с. 26–41.
2. **Маслов Н.Н.** Физико-техническая теория ползучести глинистых грунтов в практике строительства. М.: Стройиздат, 1984, с. 176.
3. **Месчян С.Р.** Экспериментальная реология глинистых грунтов. Ер.: Гитутюн НАН РА, 2005, с. 495.

Ս. Հ. ՀԱՅՐՈՅԱՆ

ՈՒՌՉՈՂ ԿԱՎԵՐԻ ՌԵՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՕՐԻՆԱԶՈՒՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ
ԽՈՆԱՎԱՑՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո մ

Աշխատանքը նվիրված է ուռչող կավերի ռեոլոգիական հատկությունների հիմնախնդրին: Փորձարարական ուսումնասիրությունների արդյունքում ստացվել է, որ մածուցիկության գործակցի և ջրակոլոիդալ կախակցվածության հարաբերությունը գործնականում հաստատուն մեծություն է՝ անկախ գրունտի ֆիզիկական վիճակից (խտություն-խոնավություն):

S. H. HAIROYAN

REGULARITIES IN CHANGING RHEOLOGICAL PROPERTIES
OF SWELLING CLAYS

Summary

The present article focuses on the rheological properties of swelling clays. The test results show that the ratio liquefaction coefficient and water-colloidal fraction independently of soil physical state (density, moisture) is a constant quality.