Известия НАН РА. Науки о Земле, 1995, XLVIII, № 1, 33—37.

С. Р. МЕСЧЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ СМЕЩЕНИЯ ГРУНТОВОГО СЛОЯ ПО НАКЛОННОМУ НАПЛАСТОВАНИЮ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

В статье приведены решения задач по определению скоростей смещения слоя вязкопластичного глинистого грунта по наклонному напластованию при нелинейном законе сдвиговой ползучести, с учетом влияния собственного веса материала на его реологические свойства и сейсмических воздействий.

Одним из основных факторов, влияющих на деформируемость и устойчивость оползневых склонов, является сейсмическое воздействие. В этом плане представляет большой интерес решение задач прогноза скоростей смещения по наклонным напластованиям слоев вязкопластичных грунтовых масс. Эта задача впервые рассмотрена Н. Н. Масловым в 1952 г. [3], а в дальнейшем стала предметом исследования многих специалистов [1, 2, 9—11], (рис. 1).

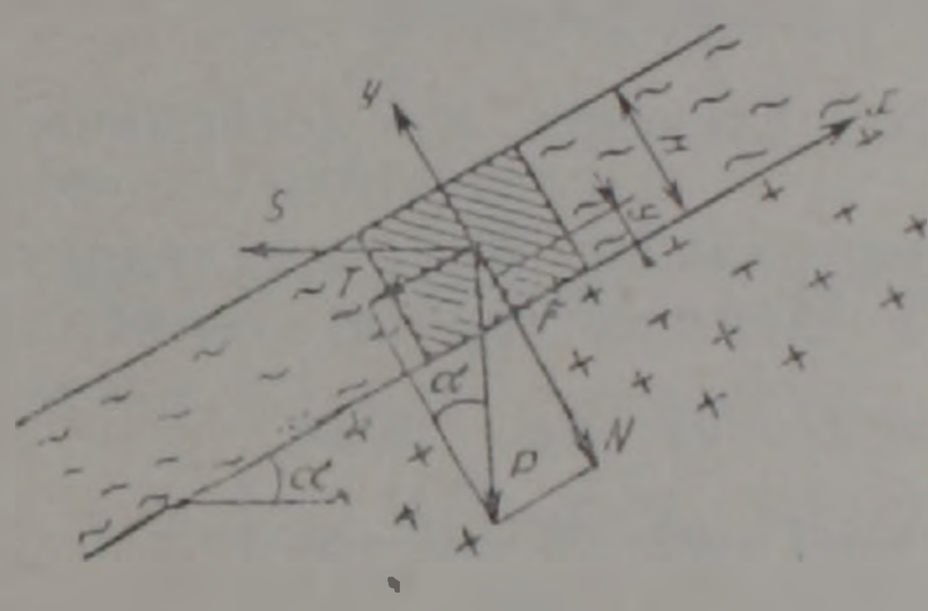

Рис. 1

В указанных выше работах эта задача была решена без учета сейсмических эффектов. В настоящей работе рассматриваются решения нелинейных задач прогноза скоростей деформирования наклонного слоя вязкопластичного грунта, обладающего ярко выраженными реологическими свойствами, с учетом сейсмических нагрузок, что является дальнейшим развитием работ автора [6,7].

I. Реологическое уравнение скоростей деформации простого сдвига слоя вязкопластичного грунта с учетом нелинейности сдвиговой ползучести записывается в следующем виде [6,7]:

$$\frac{d\gamma_t}{dt}=\frac{dv_y}{dy}=K(t)\cdot\tau_y^n, \qquad (1)$$

где γ_t —деформация сдвиговой ползучести; t—время; v_y —скорость сдвиговой ползучести, y—текущая координата мощности слоя; n—показатель нелинейности сдвиговой ползучести, $K(t)$—изменяемость скорости ползучести во времени при единичном касательном напряжении $\tau_y=1$, которая при степенном законе сдвиговой ползучести определяется из следующего выражения:

$$K(t)=A_1\cdot t^{-m_1}, \qquad (2)$$

A_1 и m_1—определяемые из опыта параметры [6,7].

Вес элемента грунта наклонного слоя мощностью H с площадью A определяется из следующего соотношения:

$$P_y=\rho \cdot g(H-y)A=\gamma(H-y) \cdot A, \quad (3)$$

где ρ—плотность грунта ($кг/м^3$); $g\cong 10 м/с^2$—ускорение силы тяжести; γ—удельный вес грунта ($кгс/м^3$, $Н/м^3$).

Касательное T_y и нормальное N_y—составляющие веса элемента P, действующие в элементе грунта слоя $(H-y)$, наклонного к горизонту под углом α, соответственно равны [3,4]:

$$T_y=\rho \cdot g(H-y) \cdot A \cdot \sin\alpha, \quad (4)$$

$$N_y=\rho \cdot g(H-y) \cdot A \cdot \cos\alpha. \quad (5)$$

Согласно СНиП 11-7-81 при расчете зданий и сооружений простой геометрической формы сейсмические нагрузки следует принимать действующими горизонтально и направленными в наружную сторону склона или откоса .Тогда, горизонтально действующая на элемент слоя грунта сейсмическая нагрузка будет равна [4]:

$$S=m \quad a_c=\rho(H-y) \cdot A \cdot a_c, \quad (6)$$

где m—масса грунтового элемента, a_c - -(сейсмическое ускорение в $м/с^2$.

Касательное T_{yc} и нормальное N_{yc}—составляющие сейсмической нагрузки, действующие в элементе грунта, соответственно равны:

$$T_{yc}=\rho(H-y) \cdot Aa_c \quad \cos\alpha, \quad (7)$$

$$N_{yc}=\rho(H-y) \cdot A \cdot a_c \cdot \sin\alpha. \quad (8)$$

Сейсмическая нагрузка T_{yc} берется со знаком (+), а N_{yc}—со знаком (—), поскольку они отрицательно влияют на деформируемость склона [4].

Выражения касательного τ_y и нормального σ_y напряжений от совместного действия собственного веса грунта и сейсмической нагрузки, с учетом (4), (5), (7) и (8), соответственно запишутся в следующем виде:

$$\tau_y=\rho(H-y)(g \cdot \sin\alpha+a_c \cdot \cos\alpha), \quad (9)$$

$$\sigma_y=\rho(H-y)(g \cdot \cos\alpha-a_c \cdot \sin\alpha). \quad (10)$$

Используя (2) и (9), соотношение (1) будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{dv_y}{dy}=A_1 \cdot t^{-m_1}[\rho(H-y)(g \cdot \sin\alpha+a_c \cdot \cos\alpha)]^n, \quad (11)$$

откуда следует, что

$$v_y=A_1 \quad t^{-m_1}[\rho(g \cdot \sin\alpha+a_c \cdot \cos\alpha)]^n \left[-\frac{(H-y)^{n+1}}{n+1}\right]+C, \quad (12)$$

Учитывая, что при $y=0$, $v_y=0$:

$$C=A_1 \cdot t^{-m_1} \cdot H^{n+1} \cdot \frac{\rho(g \cdot \sin\alpha+a_c \cdot \cos\alpha)^n}{n+1}. \quad (13)$$

тогда

$$v_y = A_2 \cdot t^{-m_1} \cdot |H^{n+1} - (H-y)^{n+1}|, \qquad (14)$$

где

$$A_2 = \frac{A_1 |\rho(g \cdot \sin\alpha + a_c \cdot \cos\alpha)|^n}{n+1}. \qquad (15)$$

Сопоставление (14) с решением этой же задачи без учета сейсмического эффекта [6, 7] показывает, что они отличаются друг от друга только выражениями постоянного коэффициента A_2.

II. Выражение (14), как отмечено в [6, 7], обладает тем основным недостатком, что не учитывает влияния изменяемости бытового давления грунта по глубине толщи на его реологические свойства. Для приблизительной оценки скоростей смещения оползневого слоя реологические свойства грунта следует определять под действием v_y, равном бытовому давлению в середине пласта ($y = H/2$). Чтобы избежать указанной ошибки зависимость (1) представим в виде обобщенного закона сдвиговой ползучести [5, 6, 7]:

$$\frac{dv_y}{dy} = K_1(t)\left(\frac{\tau_y}{\tau_f}\right)^n, \qquad (16)$$

где τ_f—сопротивление грунта сдвигу:

$$\tau_f = \sigma_y \cdot \operatorname{tg}\varphi + c = |\rho(H-y)(g \cdot \cos\alpha - a_c \cdot \sin\alpha)|\operatorname{tg}\varphi + c. \qquad (17)$$

Из (16), с учетом (2) и (17), следует:

$$\frac{dv_y}{dy} = A_1 \cdot t^{-m_1} \left| \frac{\rho(H-y)(g \cdot \sin\alpha + a_c \cdot \cos\alpha)}{\rho(H-y)(g \cdot \cos\alpha - a_c \cdot \sin\alpha)\operatorname{tg}\varphi + c} \right|^n, \qquad (18)$$

откуда получим:

$$v_y = A_1 \cdot A_3^n \cdot t^{-m_1} \int_0^{y_{max}} \left| \frac{H-y}{A_4(H-y) + c} \right|^n dy, \qquad (19)$$

где

$$A_3 = \rho(g \cdot \sin\alpha + a_c \cdot \cos\alpha), \qquad (20)$$

$$A_4 = \rho(g \cdot \cos\alpha - a_c \cdot \sin\alpha) \cdot \operatorname{tg}\varphi. \qquad (21)$$

Экспериментально установлено, что при динамических воздействиях даже малой интенсивности параметр сопротивления грунта сдвигу $c = 0$ [8]. Тогда из (19) получим весьма простое выражение:

$$v_y = \frac{A_1 \cdot A_3^n \cdot t^{-m_1}}{A^n} y. \qquad (22)$$

Сопоставление (22) с соответствующим решением этой же задачи без учета сейсмических эффектов [6, 7] показывает, что они отличаются только выражениями постоянных коэффициентов A_3 и A_4.

В качестве примера рассмотрим изменяемость скоростей смещения по наклонному напластованию под углом 10° и 30° к горизонту слоя вязкопластичного глинистого грунта мощностью $H = 10$ *м*, приведенного в [6, 7]. Используя семейство кривых глины ($\rho = 1710$ *кг/м*^{3}, $\operatorname{tg}\varphi = 0{,}273$; $c = 0$), получены следующие параметры сдвиговой ползу-

чести: $A_1=0{,}00505$; $m=0{,}89$; $n=2{,}229$. Используя выражение (22), определены скорости v_y для двух значений сейсмического ускорения: $a_c=2$ и 4 $м/с^2$, $y=0$; 2,5; 5,0 и 10$м$ и $t=1$ минута; 1 час и 1000 дней. При этом для получения представления о влиянии сейсмических нагрузок на величину v_y условно принято, что сейсмическое ускорение является постоянной величиной.

Данные, приведенные в таблице 1, показывают исключительно большое влияние на v_y как сейсмических нагрузок, так и угла наклона слоя грунта к горизонту. Интересно отметить также, что при $c=0$ скорости v_y по глубине слоя изменяются по линейному закону, тогда как при $c\neq0$ оно подчиняется нелинейному закону [6, 7]. Интересно отметить также, что при $c=0$ скорости v_y возрастают почти в два раза.

При определении v_y с учетом сейсмической нагрузки, следует принять во внимание то, что до момента начала землетрясения наклон в течение весьма длительного времени деформировался под действием собственного веса. В момент приложения сейсмической нагрузки деформация наклона практически стабилизирована (см. табл. 1). Следовательно, в этом случае v_y с учетом a_c следует определить как скорость, соответствующую весьма короткому времени только от действия сейсмических колебаний при $T_y=0$ (4).

Таблица 1

Скорости течения v_y (в *м сутки*) наклонного слоя глинистого грунта

y, м	$\alpha=10°$			$\alpha=30°$		
	$a_c=0$	$a_c=2$ м $с^2$	$a_c=4$ с $м^2$	$a_c=0$	$a_c=2$ м $с^2$	$a_c=4$ м $с^2$
			$t=1$ минута			
0	0	0	0	0	0	6
2,6	3,0	17,0	49,0	42,0	107,0	243,0
5,0	6,0	35,0	98,0	85,0	214,0	487,0
10,0	12,0	70,0	196,0	169,0	418,0	974,0
			$t=1$ час			
0	0	0	0	0	0	0
2,5	0,0775	0,457	1,28	1,1	2,8	6,25
5,0	0,155	0,914	2,55	2,19	5,6	12,70
10,0	0,31	1,83	5,10	4,39	11,2	25,40
			$t=1000$ дней			
0	0			0		
2,5	$0{,}98\cdot10^{-5}$	—	—	$1{,}4\cdot10^{-4}$	—	—
5,0	$1{,}96\cdot10^{-5}$	—	—	$2{,}8\cdot10^{-4}$	—	—
10,0	$3{,}9\cdot10^{-5}$	—	—	$5{,}6\cdot10^{-4}$	—	—

В рассмотренном примере скорость смещения слоя при $\alpha=30°$, $y=H=10м$, $t=1000$ дней и $a_c=0$, $v_y=0{,}00056$ *м/сутки*$=5{,}6$ *мм/сутки*. Ясно, что при $t\gg1000$ дней v_y практически будет равна нулю. Тогда, если условно принять, что длительность сейсмического воздействия равна одному часу $v_y=25{,}4$ *м/сутки*, а при $t=1$ минута—974 *м/сутки*.

Институт механики НАН РА

Поступила 5.VII.1994

Ս. Ռ. ՄԵՍՉՅԱՆ

ՍԵՅՄԻԿ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ԹԵՔ ՇԵՐՏԱՎՈՐՈՒՄՈՎ ԳԵՏՆԱՀՈՂԱՅԻՆ ՇԵՐՏԻ ՏԵՂԱՇԱՐԺՄԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Հոդվածում շարադրված են թեք հարթությամբ տեղաշարժվող գետնահողային շերտի արագության որոշման խնդիրների լուծումները սահքային սողքի ոչ գծային օրենքի դեպքում գետնահողի սեփական կշռի և սեյսմիկ ազդեցությունների հաշվառումով։

S. R. MESCHIAN

DETERMINATION OF GROUND LAYER DISPLACEMENT VELOCITY BY MEANS OF INCLINED BEDDING AT SEISMIC EFFECTS.

Abstract

The paper gives the solution of the problem on determination of displacement velocity in viscous-plastic clay ground layer by means of inclined bedding with a nonlinear law of shear creep, taking account of both the material own weight effect on its rheolagical properties and seismic effects.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Будин А. Я.** Прогноз времени оползневого смещения на основе учета реологических свойств горных пород.—В кн.: Современные методы прогноза оползневого процесса, М.: Наука, 1981. с. 85—95.
2. **Дидух Б. И.** Упругопластическое деформирование грунтов. М.: Изд. Университета дружбы народов (УДН), 1987. 166 с.
3. **Маслов Н. Н.** Некоторые новые принципы оценки степени устойчивости откосов и склонов.—В кн.: Тез. докладов X научной конференции ЛИСИ. Л.: ЛИСИ, 1952, с. 40—42.
4. **Маслов Н. Н.** Механика грунтов в практике строительства. М.: Стройиздат, 1977. 320 с.
5. **Месчян С. Р.** Экспериментальная реология глинистых грунтов. М.: Недра, 1985. 432 с.
5. **Месчян С. Р.** Прогноз скорости движения по наклонной поверхности оползневых грунтовых масс. Изв. АН АрмССР, Науки о Земле. 1990, XLIII, № 1, с. 56—64.
7. **Месчян С. Р.** Расчет скорости смещения по наклонной поверхности вязких грунтовых масс.—Основания, фундаменты и механика грунтов, 1993, № 5.
8. **Месчян С. Р.** Реологические процессы в глинистых грунтах. Ереван: Айастан, 1992. 395 с.
9. **Строганов А. С.** Вязкопластическое течение грунтов.—Докл. к V международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. М.: Госстройиздат, 1961. с. 194—202.
10. **Тер-Мартиросян З. Г.** Вязкопластическое течение наклонного весомого пласта при действии на его границах переменных во времени нагрузок и напоре.—Тр. Первого всес. симпозиума по реологии грунтов. Дилижан, 1972. Ереван: Изд. Ереванского университета, 1973. с. 262—272.
11. **Тер-Степанян Г. И.** О длительной устойчивости склонов. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1961. 42 с.