УДК 624.131.7

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

С.А. Давеян

ДЕФОРМАЦИИ ОСНОВАНИЯ ВЫСОТНОГО КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ЗДАНИЯ С УЧЕТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ ГРУНТА

Рассматривается задача определения деформации грунта основания высотных крупнопанельных зданий с учетом ползучести грунта.

Связь деформации и давления грунта основания здания, в зависимости от времени, установлена с использованием механической модели Максвелла-Фохта для полупространства.

Определена деформация грунта основания в зависимости от времени с учетом ползучести, которая несравненно больше по отношению с деформации без учета ползучести грунта.

Ключевые слова: *высотное здание, грунт основания, ползучесть, полупространство, напряжение, деформация.*

Для безопасной эксплуатации крупнопанельного высотного здания важное значение имеет точное определение деформации грунта основания здания. Учитывая, что в основаниях высотных зданий возникают относительно большие давления, считаем необходимым учитывать также деформации, возникающие от ползучести грунта. С учетом жесткости здания давление P_0, передаваемое на грунт основания, принимается постояным. Контактные реактивные напряжения на поверхности основания согласно полиному Лежандра имеют симметричный криволинейный вид.

В рассматриваемой задаче напряжения в углах здания имеют конечные величины, установленные теоретическим и эксперементальным путями [1].

Расчетная схема представлена на рис.

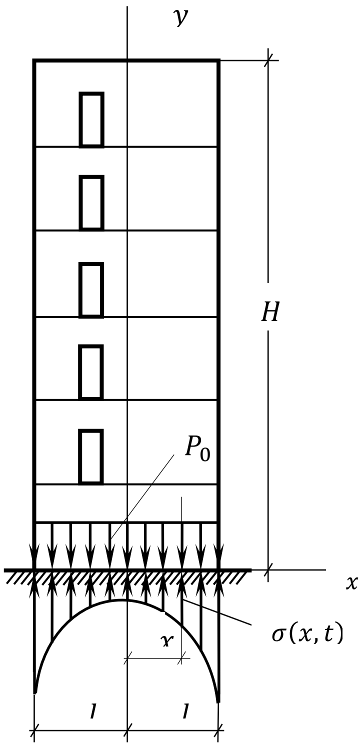

Рис. Расчетная схема здания и основания

Для определения деформации основания высотного здания длину здания принимаем за единицу [1]:

$$U(0) = \frac{2(1-\nu_0^2)}{E_0} \cdot P_0 \quad , \tag{1}$$

где U_o – деформация в подошве фундамента здания; P_o – давление, возникающее в той же плоскости от веса здания; E_o - модуль деформации грунта основания; ν_o - коэффициент Пуассона грунта основания.

Функцию распределения величины напряжений грунта основания можно определить согласно [2]:

$$\sigma_o(\xi) = \frac{A_o}{8}\left[\left(3\xi^4 + 4\xi^2 + 1\right)\right] + \left[C_o + \frac{1}{2}C_2\left(3\xi^2 - 1\right) + \frac{1}{8}C_4\left(35\xi^4 - 30\xi^2 + 3\right)\right], \tag{2}$$

где $\xi = \frac{x}{l}$; A_o, C_o, C_2 и C_4 – постоянные коэффициенты, которые определяются:

$$A_0 = \frac{2}{\pi}P_0;\ C_0 = P_0;\ C_2 = \frac{40{,}52 - 2{,}44\beta}{45 + 2{,}0\beta + 0{,}02\beta^2} \cdot P_0;\ C_4 = \frac{13{,}51 + 2{,}03\beta}{45 + 2{,}0\beta + 0{,}02\beta^2} \cdot P_0; \tag{3}$$

$\beta = \frac{\pi\nu_1(1+\nu_1)}{2(1-\nu_0^2)} \cdot \frac{E_o}{E_1}$ - приведенный коэффициент гибкости здания; E_1, ν_1 - приведенные коэффициенты деформации и Пуассона материала здания.

Поскольку в общую деформацию грунта основания включена также деформация, возникшая вследствие ползучести грунта, то для установления связи между деформацией грунта основания и давлением в зависимости от времени целесообразно пользоваться механической моделью Максвелл-Фохта для полупространства [3].

Принимая коэффициент податливости грунта основания постоянным, дифференциальное уравнение деформации приводится к решению дифференциального уравнения первой степени с переменными коэффициентами:

$$n = \frac{E_o}{1-\nu_o^2}\dot{\varepsilon}(\xi,t) + \frac{E}{1-\nu_o^2}\varepsilon(\xi,t) = n\dot{\sigma}(\xi,t) + \sigma(\xi,t), \tag{4}$$

где $n = \frac{K}{E_o + E_1}$; $E = \frac{E_o E_1}{E_o + E_1}$, $\varepsilon(\xi,t)$ - относительная деформация грунта основания здания; K - коэффициент вязкости грунта; n - время релаксации.

Поскольку при деформации грунта изменение напряжений $(\sigma(\xi,t))$ протекает довольно медленно, то эти напряжения можно представить в следующем виде:

$$\sigma(\xi,t) = \sigma_o(\xi)\left(1 + \frac{t}{t_o}\right); \quad \dot{\sigma}(\xi,t) = \sigma_o(\xi)\frac{1}{t_o}, \tag{5}$$

где t_o - время практического затухания нормального напряжения $(\sigma(\xi,t))$ грунта, t - текущее время.

Подставляя величину $\sigma(\xi,t)$ из (2) в уравнение (5), получим:

$$m\left\{nE_o\dot{\varepsilon}(\xi,t) + E\varepsilon(\xi,t)\right\} = \sigma_o(\xi,t)\left[\left(1 + \frac{n}{t_o}\right) + \frac{t}{t_o}\right]. \tag{6}$$

Преобразуя и обозначая уравнение (6)

$$\dot{\varepsilon}(\xi,t)+\frac{E}{nE_o}\varepsilon(\xi,t)=\frac{\sigma_o(\xi)}{mnE_o}\left[\left(1+\frac{n}{t_o}\right)+\frac{t}{t_o}\right]$$ и $a=\frac{E}{nE_o}$; $b=\frac{1}{mnE_o}$, $m=\left(\frac{1}{1-\nu_o^2}\right)$, получим:

$$\dot{\varepsilon}(\xi,t)+a\varepsilon(\xi,t)=b\sigma_o(\xi)\left[\left(1+\frac{n}{t_o}\right)+\frac{t}{t_o}\right]. \tag{7}$$

Интегрируя дифференциальное уравнение (7) по времени, получим:

$$\varepsilon(\xi,t)=e^{-a\int dt}\left[C_1+b\sigma_o(\xi)\int\left[\left(1+\frac{n}{t_o}\right)+\frac{t}{t_o}\right]e^{a\int dt}dt\right]. \tag{8}$$

Интегрируя выражение (8), получим:

$$\varepsilon(\xi,t)=e^{-at}\left\{C_1+b\sigma_o(\xi)\int\left[\left(1+\frac{n}{t_o}\right)+\frac{t}{t_o}\right]e^{at}dt\right\}=$$

$$=e^{-at}\left\{C1+b\sigma_o(\xi)\left[\left(1+\frac{n}{t_o}\right)\frac{1}{a}+\frac{1}{t_oa^2}(at-1)\right]e^{at}\right\}$$

или

$$\varepsilon(\xi,t)=C_1e^{-at}+\frac{b}{a}\left[\left(1+\frac{n}{t_o}\right)+\frac{1}{at_o}(at-1)\right]\sigma_o(\xi), \tag{9}$$

где $\frac{b}{a}=\frac{1}{mE}=\frac{1-\nu_o^2}{E}$.

Для определения постоянной величины интегрирования C_1 воспользуемся начальным условием задачи

при $t=0$, $\varepsilon(0)=\frac{1-\nu_o^2}{E_o}P_o$. (10)

Используя начальное условие (9) и подставляя в выражение (8), получим

$$\frac{-1-\nu_o^2}{E_o}P_o=C_1+\frac{1-\nu_o^2}{E}\sigma_o(\xi)\left[\left(1+\frac{n}{t_o}\right)-\frac{1}{at_o}\right], \tag{11}$$

Подставив величину C_1 в уравнение (9), получим:

$$\varepsilon(\xi,t)=-\left\{\frac{1-\nu_o^2}{E}\sigma_o(\xi)\left[\left(1+\frac{n}{t_o}\right)-\frac{1}{at_o}\right]+\frac{1-\nu_o^2}{E_o}P_o\right\}e^{-at}+\frac{1-\nu_o^2}{E}\sigma_o(\xi)\left[\left(1+\frac{n}{t_o}\right)+\frac{1}{at_o}(at-1)\right].$$

Преобразуя и группируя последнее уравнение, получим:

$$\varepsilon(\xi,t)=-\frac{\sigma_o(\xi)}{E}\left(1-\nu_o^2\right)\left\{\left[\left(1+\frac{n}{t_o}\right)+\frac{1}{at_o}(at-1)\right]-\left[\left(1+\frac{n}{t_o}\right)-\frac{1}{at_o}\right]e^{-at}-\frac{1-\nu_o^2}{E_o}P_oe^{-\nu t}\right\}. \tag{12}$$

Обозначив $\Phi(t)=\left[\left(1+\frac{n}{t_o}\right)+\frac{1}{at_o}(at-1)\right]-\left[\left(1+\frac{n}{t_o}\right)-\frac{1}{at_o}\right]e^{-at}$, из (12) получим:

$$\varepsilon(\xi,t)=-\frac{1-\nu_o^2}{E}\sigma_o(\xi)\Phi(t)-\frac{1-\nu_o^2}{E_o}P_oe^{-at}. \tag{13}$$

Для определения деформации сначала величину $\sigma_o(\xi)$ из выражения (2) подставим в уравнение (13)

$$\varepsilon(\xi,t) = -\frac{1-\nu_o^2}{E}\left\{\frac{A_o}{8}\left[\left(3\xi^4+4\xi^2+1\right)\right]+\left[C_o+\frac{1}{2}C_2\left(3\xi^2-1\right)+\frac{1}{8}C_4\left(35\xi^4-30\xi^2+3\right)\right]\right\}\times$$
$$\times\Phi(t)-\frac{1-\nu_o^2}{E_o}P_o e^{-at}. \quad (14)$$

Используя величину относительной деформации грунта из уравнения (14), можем определить деформацию грунта основания крупнопанельного высотного здания $\left(U(\xi,t)\right)$ в зависимости от времени деформации:

$$U(\xi,t) = -\frac{1-\nu_o^2}{E}P_o\int_{-1}^{+1}\varepsilon(\xi,t)\,dt =$$
$$= -\frac{1-\nu_o^2}{E}P_o\ell\int_{-1}^{+1}\left[\left\{\frac{A_o}{8}\left(3\xi^4+4\xi^2+1\right)+\left[\overline{C}_o+\frac{1}{2}\overline{C}_2\left(3\xi^2-1\right)+\right.\right.\right.$$
$$\left.\left.\left.+\frac{1}{8}\overline{C}_4\left(35\xi^4-30\xi^2+3\right)\right]\right\}\Phi(t)+\frac{E}{E_o}e^{-at}\right]d\xi. \quad (15)$$

Интегрируя уравнение (15), получим:

$$U(\xi,t) = -\frac{1-\nu_o^2}{E}P_o\ell\left[\left\{\frac{\overline{A}_o}{8}\left(\frac{3}{5}\xi^5+\frac{4}{3}\xi^3-\xi\right)+\left[\overline{C}_o\xi+\frac{1}{2}\overline{C}_2\left(\xi^3-\xi\right)\right]+\right.\right.$$
$$\left.\left.+\frac{1}{8}\overline{C}_4\left(7\xi^5-10\xi^3+3\xi\right)\right\}\Phi(t)+\xi\frac{E}{E_o}e^{-at}\right]\Bigg|_{-1}^{+1},$$

$$U(\xi,t) = -\frac{2\left(1-\nu_o^2\right)}{E}P_o\ell\left\{\left[\overline{A}_o\left(\frac{14}{120}\right)+\left(\overline{C}_o\right)\right]\Phi(t)+\frac{E}{E_o}e^{-at}\right\}. \quad (16)$$

Пример. Принимая $E_o = 19{,}61 МПа$; $\boldsymbol{\nu_o} = 0{,}3$; $E = \frac{E_1E_o}{E_1+E_o} \approx \frac{E_o}{2}$; $t = 1\,час$;

$$K = 14{,}32\ МПа\cdot час$$

$$n = \frac{K}{E_1+E_0} = 0{,}487\,;\, n = \frac{E}{E_0 n} = \frac{1}{2n} = 1{,}03;$$

$e^{-1{,}03t} = 0{,}3570$; $\phi(t) = 0{,}674$; $\overline{A}_o = \frac{A_o}{P_o} = \frac{2}{\pi\cdot 2} = \frac{1}{\pi} = 0{,}32$; $\overline{C}_o = \frac{C_o}{P_o} = 0{,}5$, получаем

$$U(\xi,t) = -3{,}93\ см.$$

Расчетные значения $U(\xi,t)$ при разных величинах E_0 и ν_0 представлены в табл.

Таблица

Расчетные значения $U(\xi, t)$ при разных величинах E_0 и ν_0

E_0	ν_0	K	n	a	C_0	$\bar{A}_0$	$\phi(t)$	$U(\xi, t)$
$2 \cdot 10^2$	0,3	$1{,}46 \cdot 10^2$	0,487	1,03	0,5	0,32	0,674	-3,93
$3{,}5 \cdot 10^2$	0,35	$1{,}46 \cdot 10^2$	0,278	1,80	0,5	0,32	0,873	-1,87
$4{,}6 \cdot 10^2$	0,37	$1{,}46 \cdot 10^2$	0,211	2,37	0,5	0,32	0,945	-1,37

Деформация грунта без учета ползучести определится выражением [1]:

$$U_0(\xi, 0) = \frac{2(1-\nu^2)}{E_0} P_0 \cdot 1 = 0{,}01 \text{ см.}$$

Результаты сравнительных расчетов (1) и данных табл. диктуют, что для безопасной эксплуатации крупнопанельного высотного здания необходимо учитывать также деформацию ползучести грунта.

Ս.Հ. Դավեյան

ԲԱՐՁՐԱՀԱՐԿ ԽՈՇՈՐԱՊԱՆԵԼ ՇԵՆՔԻ ՀԻՄՆԱՏԱԿԻ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍՈՂՔԻ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄՈՎ

Դիտրակված է բարձրահարկ շենքի հիմնատակի գրունտի դեֆորմացիայի որոշման խնդիրը սողքի հաշվառումով: Շենքի հիմնատակի գրունտի դեֆորմացիայի և ճնշման կախվածությունն ըստ ժամանակի կիսատարածության համար հաստատվել է Մաքսվել-Ֆոխտի մեխանիկական մոդելի օգտագործմամբ: Ժամանակից կախված որոշվել է շենքի գրունտի դեֆորմացիան սողքի հաշվառումով, որն անհամեմատ մեծ է առանց սողքի հաշվառման համեմատության:

Առանցքային բառեր. *բարձրահարկ շենք, հիմնատակի գրունտ, սողք, կիսատարածություն, լարում, դեֆորմացիա:*

S.H. Daveyan

DESIGN THEORY FOR FOUNDATION DEFORMATION OF TALL LARGE-PANEL BUILDING CONSIDERING THE SOIL CREEPING

The article presents the problem on determining the soil deformation of tall large-panel building foundation taking into consideration the soil creeping.

The time-dependent stress-deformation relationship of the building foundation soils was determined by using Maxwell-Vogst's mechanical model for half –space.

The time-dependent deformation of foundation soils, including creep deformation, was determined which was incomparably times higher in comparison with the deformation when the soil creeping is not considered.
Keywords: *tall building, foundation soils, creeping, abstract half-space, stress, deformation.*

Литература

1. **Безухов Н.И.** Основы теории упругости, пластичности и ползучести. –М.: Высшая школа, 1968. – 394 с.
2. **Минасян Р.С.** Теория расчета крупнопанельных зданий. – Ереван: Луйс, 1993. - 468 с.
3. **Есаян С.Г.** Реологическое моделирование вязкоупругих, упругопластических и вязкоупругопластических сред: монография.- Ереван: Чартарагет, 2009. - 368 с.

Դավեյան Սմբատ Հարությունի, տ.գ.թ., դոց. *(ՀՀ, ք. Երևան) – ՀԱԱՀ, պրոռեկտոր, Ուսումնամեթոդական կենտրոնի տնօրեն, (091)483568, (010) 522432, Daveyansmbat@mail.ru:*
Давеян Смбат Арутович, к.т.н., доц. *(РА, г. Ереван) –НАУА, проректор, директор Учебно-методического центра, (091) 483568, (010) 522432, Daveyansmbat@mail.ru.*
Daveyan Smbat Harut, doctor of Philosophy (Ph.D) in Technical Sciences, assistant prof. *(RA, Yerevan)- ANAU, Vice-rector, Head of Educational-methodical Center, (091) 483568, (010) 522432, Daveyansmbat@mail.ru.*

Ներկայացվել է՝09.04.2014թ.
Ընդունվել է տպագրության՝15.04.2014թ.