

Внутренняя несущая стена с двумя проемами (простенок длиной 2 м) имеет несколько вентиляционных и бывших при печном отоплении дымовых каналов. При общей толщине простенка 70 см кирпичная кладка значительно ослаблена – прочность ее не превышает 0,5 МПа из-за многолетней эксплуатации при повышенной температуре. Как следствие недостаточной прочности в простенке по всей высоте появились вертикальные трещины вдоль каналов. Поэтому передача нагрузки от перекрытий на простенок недопустима. В связи с этим была рекомендована и осуществлена передача нагрузки от перекрытий на стальную предварительно напряженную обойму, выполненную вокруг несущего простенка. Вертикальные элементы обоймы – прокатные уголки, нижние и верхние планки – предварительно напряженные швеллеры, на которые опираются балки перекрытия, промежуточные планки – предварительно напряженные полосы. Предварительное напряжение осуществляли путем нагрева полос перед сваркой и последующего остывания. Усилия предварительного напряжения и количество промежуточных планок рассчитаны на полуторный запас против сдвига обоймы по простенку от нагрузки, передаваемой перекрытиями. Перед обжатием кладки простенка все дымовые каналы были заполнены керамзитобетоном.

Получено 25.04.2000

УДК 624.04

И.Я.ЛУЧКОВСКИЙ, канд. техн. наук
Харьковский ПромстройНИИпроект

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ НАГРУЗОК НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛИНЕЙНО-ДЕФОРМИРУЕМОГО ОСНОВАНИЯ И ДАВЛЕНИЕ ГРУНТА НА ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рассматривается проблема определения напряжений и деформаций в основании фундаментов, а также давления на подпорные стенки.

1. Введение

Для определения напряжений и деформаций грунта, к поверхности которого приложена местная нагрузка, используют методы интегрирования фундаментальных решений Фламана, Буссинеска и Маргерра, полученных при воздействии на полуплоскость, полупространство или конечный слой сосредоточенной силы, что является принципиальной ошибкой всех известных нам решений [1, 2].

Для доказательства этого рассмотрим задачу Митчела для полуплоскости, загруженной на отрезке $-a \leq x \leq a$ равномерно распределенной нагрузкой q [2, 3]. Для точек, находящихся на оси z , получим

$$\sigma_z = -\frac{q}{\pi}(2\beta + \sin 2\beta); \quad \sigma_x = -\frac{q}{\pi}(2\beta - \sin 2\beta),$$

где 2β – угол видимости.

Естественно, что при расширении площади загрузки угол β стремится к $\pi/2$, поэтому во всех точках оси z напряжения будут равны

$$\sigma_z = \sigma_x = -q.$$

Из обобщенного закона Гука в этом случае (при $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$) имеем

$$\sigma_x = \sigma_z = -\lambda_o q,$$

где λ_o – коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя [4]:

$$\lambda_o = \mu/(1 - \mu). \quad (1)$$

Рассмотрим теперь аналогичную задачу для полупространства, решенную Лявом [1]. Для квадратной площадки загрузки со стороны a горизонтальные напряжения для точек оси z оказываются равными

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{2q}{\pi} \left[(3 - 2\mu) \frac{\pi}{4} - \frac{4\bar{z}}{(4 + \bar{z}^2)\sqrt{8 + \bar{z}^2}} - \arctg \frac{\bar{z}\sqrt{8 + \bar{z}^2}}{4} - (1 - 2\mu) \arctg \frac{\sqrt{8 + \bar{z}^2}}{\bar{z}} \right],$$

где $\bar{z} = z/a$.

При расширении площади загрузки ($a \rightarrow \infty$) получим

$$\sigma_y = \sigma_x = 0,5 + \mu.$$

Таким образом, при распределенных нагрузках использование решений для сосредоточенной силы приводит к искажению напряженно-деформированного состояния грунтового основания. При использовании основания конечной толщины [5] это искажение снижается, но не устраняется.

2. Модифицированная модель основания

Для решения поставленной задачи предлагаем применить модель основания в виде линейно-деформируемого слоя конечной ширины, соединенного податливыми связями с окружающим его массивом (рис.1).

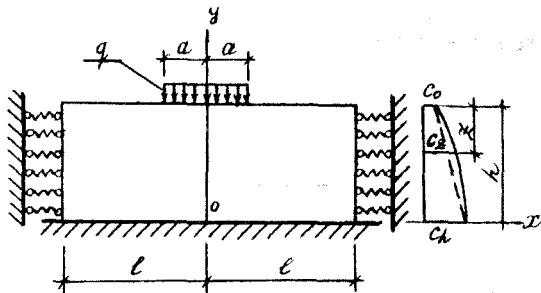


Рис.1

Задача решается для плоской деформации бесконечной полосы. Жесткость податливых связей можно описать произвольным законом, однако на основании экспериментальных данных для однородного основания принимается линейный закон изменения жесткости связей по глубине слоя

$$C_z = C_0 + Kz, \quad (2)$$

где K – коэффициент пропорциональности (кН/м^4).

Ищем решение, выражая функцию напряжений φ в виде [6]

$$\varphi = \sum_{n=1}^{\infty} \cos(\alpha x) A(y, \alpha y) + D_1 x^2 + D_2 y^2. \quad (3)$$

Здесь $A(x, \alpha y) = C_1 sh(\alpha y) + C_2 ch(\alpha y) + C_3 y sh(\alpha y) + C_4 y ch(\alpha y)$;
 $\alpha = n\pi / l$.

При этом напряжения приобретают вид

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \sum_{n=1}^{\infty} \alpha \cos(\alpha x) [A(y, \alpha y) + 2B(\alpha y)] + 2D_2; \\ \sigma_y &= -\sum_{n=1}^{\infty} \alpha^2 \cos(\alpha x) A(y, \alpha y) + 2D_1; \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $B(\alpha y) = C_3 ch(\alpha y) + C_4 sh(\alpha y)$.

Произвольные постоянные определяем для двух случаев контакта слоя с жестким основанием:

а) Отсутствие вертикальных и горизонтальных смещений при $y=0$.

Из условия равновесия $\sum Y=0$ имеем

$$D_1 = qa / 2l.$$

Затем из условий $V|_{y=0} = 0$, $U|_{y=0} = 0$ найдем

$$C_4 = \frac{\alpha}{1-2\mu} C_1; \quad \alpha C_2 = -2(1-\mu)C_3.$$

Рассматривая равновесие на поверхности грунта, получаем

$$C_1 = -\frac{2q(1-2\mu)}{\alpha^2 \cdot l} \cdot \frac{\sin(\alpha a)}{\alpha} \cdot \frac{(1-2\mu)sh(\alpha h) - \alpha h ch(\alpha h)}{(\alpha h)^2 + (1-2\mu)^2 + (3-4\mu)ch^2(\alpha h)};$$

$$C_3 = -\frac{2q}{\alpha \cdot l} \cdot \frac{\sin(\alpha a)}{\alpha} \cdot \frac{2(1-\mu)ch(\alpha h) + \alpha h sh(\alpha h)}{(\alpha h)^2 + (1-2\mu)^2 + (3-4\mu)ch^2(\alpha h)}.$$

После этого представим напряжения σ_x и σ_y в виде

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= 2D_2 - \frac{2q}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha} \sin(\alpha a) \cos(\alpha x) \cdot F_x; \\ \sigma_y &= -\frac{qa}{l} \left[1 - \frac{2}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha} \sin(\alpha a) \cos(\alpha x) \cdot F_y \right], \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \frac{1}{\bar{h}^2 + (1-2\mu)^2 + (3-4\mu)ch^2\bar{h}} \times \\ &\times \left\{ sh\bar{y} \left[(3-2\mu)(1-2\mu)sh\bar{h} - (3-2\mu)\bar{h}ch\bar{h} + 2(1-\mu)\bar{y}ch\bar{h} + \bar{y}\bar{h}sh\bar{h} \right] + \right. \\ &\left. + ch\bar{y} \left[4\mu(1-\mu)ch\bar{h} + 2\mu\bar{h}sh\bar{h} + (1-2\mu)\bar{y}sh\bar{h} - \bar{y}\bar{h}ch\bar{h} \right] \right\}, \\ F_y &= \frac{1}{\bar{h}^2 + (1-2\mu)^2 + (3-4\mu)ch^2\bar{h}} \times \\ &\times \left\{ sh\bar{y} \left[(1-2\mu) \left[(1-2\mu)sh\bar{h} - \bar{h}ch\bar{h} \right] + \bar{y} \left[2(1-\mu)ch\bar{h} + \bar{h}sh\bar{h} \right] \right] - \right. \\ &\left. - ch\bar{y} \left[2(1-\mu) \left[2(1-\mu)ch\bar{h} + \bar{h}sh\bar{h} \right] - \bar{y} \left[(1-2\mu)sh\bar{h} - \bar{h}ch\bar{h} \right] \right] \right\}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Используя закономерности (2), (5), найдем постоянную D_2 :

$$-D_2 = \frac{q}{2\left[\beta + (1 - \mu^2)(\rho + z/l)\right]} \left[\frac{2\beta}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(\alpha a) \cos(\pi n) \cdot F_x + \mu(1 + \mu)(\rho + z/l) \frac{a}{l} \right], \quad (7)$$

где ρ и β — жесткостные параметры, равные $\rho = C_o / kl$; $\beta = E / kl^2$.

Для реальных грунтов параметр β не превышает значений $\beta = 0,01$, что позволяет с достаточной для практических расчетов точностью принять

$$D_2 \cong -qa\lambda_o / 2l.$$

Кроме того, введем упрощения, связанные с тем, что для обычных грунтов и наиболее распространенных нагрузок, как будет показано ниже, соотношение $\frac{l}{h}$ находится в диапазоне $1 \leq \frac{l}{h} \leq 2$, что позволяет представить напряжения и осадку поверхности S_x таким образом:

$$\left. \begin{aligned} -\bar{\sigma}_x &= \lambda_o \bar{a} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(\alpha a) \cos(\alpha x) (1 - \alpha z) e^{-\alpha z}; \\ -\bar{\sigma}_y &= \bar{a} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(\alpha a) \cos(\alpha x) (1 + \alpha z) e^{-\alpha z}; \\ S_x &= \frac{1 + \mu}{E} qh \left[\frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} \bar{a} + \frac{4(1 - \mu)l}{\pi^2 h} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \sin(\alpha a) \cos(\alpha x) \right], \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где обозначено $\bar{a} = a/l$; $\bar{\sigma}_x = \sigma_x / q$; $\bar{\sigma}_y = \sigma_y / q$; $z = h - y$.

б) Отсутствие вертикальных смещений и сцепления при $y = 0$.

В этом случае решение упрощается и произвольные постоянные принимают значения

$$D_1 = -\frac{1}{2} q \bar{a}; \quad D_2 = -\frac{1}{2} q \bar{a} \lambda_o; \quad C_1 = C_4 = 0;$$

$$C_2 = \frac{2q}{\alpha^2 \cdot l} \cdot \frac{\sin(\alpha a)}{\alpha} \frac{sh\bar{h} + \bar{h}ch\bar{h}}{\bar{h} + sh\bar{h} \cdot ch\bar{h}};$$

$$C_3 = -\frac{2q}{\alpha l} \cdot \frac{\sin(\alpha a)}{\alpha} \frac{sh\bar{h}}{\bar{h} + sh\bar{h} \cdot ch\bar{h}}.$$

Выражения для напряжений (5) остаются прежними, но функции F_x и F_y изменяются:

$$F_x = \frac{1}{\bar{h} + sh\bar{h} \cdot ch\bar{h}} \left[ch\bar{y}(\bar{h}ch\bar{h} - sh\bar{h}) - \bar{y}sh\bar{y}sh\bar{h} \right];$$

$$F_y = \frac{1}{\bar{h} + sh\bar{h} \cdot ch\bar{h}} \left[ch\bar{y}(sh\bar{h} + \bar{h}ch\bar{h}) - \bar{y}sh\bar{y}sh\bar{h} \right],$$

где $\bar{y} = \alpha y$; $\bar{h} = \alpha h$.

Для слоев с соотношением размеров $\frac{l}{h} < 2$ напряжения и деформации также описываются формулами (8).

3. Замена рядов элементарными и специальными функциями

Полученные зависимости (8) можно существенно упростить путем представления тригонометрических функций в комплексной форме.

$$а) \Phi_1 = \sum_{n=1}^{\infty} \sin n\pi\bar{a} \cdot \cos n\pi\bar{x} \cdot e^{-n\pi\bar{z}} = \frac{1}{4i} \left\{ \frac{1}{1 - e^{\pi[i(\bar{a} + \bar{x}) - \bar{z}]}} - \frac{1}{1 - e^{\pi[i(\bar{x} - \bar{a}) - \bar{z}]}} + \frac{1}{1 - e^{-\pi[i(\bar{x} - \bar{a}) + \bar{z}]}} - \frac{1}{1 - e^{-\pi[i(\bar{a} + \bar{x}) + \bar{z}]}} \right\}.$$

Затем после ряда преобразований получим

$$\Phi_1 = \frac{1}{4} \left[\frac{\sin \pi(\bar{a} + \bar{x})}{ch\pi\bar{z} - \cos \pi(\bar{a} + \bar{x})} - \frac{\sin \pi(\bar{x} - \bar{a})}{ch\pi\bar{z} - \cos \pi(\bar{x} - \bar{a})} \right]. \quad (9)$$

б) Ряд $\Phi_2 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin n\pi\bar{a} \cdot \cos n\pi\bar{x} \cdot e^{-n\pi\bar{z}}$ можно вычислить, учитывая, что он равен

$$\Phi_2 = \int_0^a \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\pi\bar{a} \cdot \cos n\pi\bar{x} \cdot e^{-n\pi\bar{z}} = \frac{1}{2} \int_0^a \left[\frac{e^{\pi\bar{z}} - \cos \pi(\bar{a} + \bar{x})}{ch\pi\bar{z} - \cos \pi(\bar{a} + \bar{x})} + \frac{e^{\pi\bar{z}} - \cos \pi(\bar{x} - \bar{a})}{ch\pi\bar{z} - \cos \pi(\bar{x} - \bar{a})} - 4 \right] da.$$

Интегрируя, получим

$$2\Phi_2 = \operatorname{arctg} \frac{\sin \pi(\bar{x} + \bar{a})}{e^{\pi\bar{z}} - \cos \pi(\bar{x} + \bar{a})} - \operatorname{arctg} \frac{\sin \pi(\bar{x} - \bar{a})}{e^{\pi\bar{z}} - \cos \pi(\bar{x} - \bar{a})}. \quad (10)$$

в) Ряд $\Phi_3 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \sin \pi n \bar{a} \cdot \cos \pi n \bar{x}$ найдем двойным интегрированием, так как он равен

$$\Phi_3 = \int_0^{\bar{a}} \int \sum_{n=1}^{\infty} \sin \pi n \bar{a} \cdot \cos \pi n \bar{x} \cdot d^2 \bar{a}.$$

Опуская преобразования, имеем

$$\Phi_3 = \frac{1}{4} \int_0^{\bar{a}} \int \left[\frac{\sin \pi(\bar{a} + \bar{x})}{1 - \cos \pi(\bar{a} + \bar{x})} - \frac{\sin \pi(\bar{x} - \bar{a})}{1 - \cos \pi(\bar{x} - \bar{a})} \right] d^2 \bar{a}.$$

Используя работы [7, 8], из найденного выражения получим новую функцию, названную нами Lu , которая выражается через интегралы Клаузена Cl_2 :

$$\Phi_3 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \pi n \bar{a} \cdot \cos \pi n \bar{x}}{n^2} = \frac{1}{2} Lu(\bar{x}, \bar{a}), \quad (11)$$

где

$$Lu(\bar{x}, \bar{a}) = \begin{cases} Cl_2 \pi(\bar{x} + \bar{a}) - Cl_2 \pi(\bar{x} - \bar{a}); & \text{при } (\bar{x} + \bar{a}) < 1, \bar{x} > \bar{a} \\ -Cl_2 \pi[2 - (\bar{x} + \bar{a})] - Cl_2 \pi(\bar{x} - \bar{a}); & \text{при } (\bar{x} + \bar{a}) > 1, \bar{x} > \bar{a} \\ -Cl_2 \pi[2 - (\bar{x} + \bar{a})] + Cl_2 \pi(\bar{a} - \bar{x}); & \text{при } (\bar{x} + \bar{a}) > 1, \bar{x} < \bar{a} \\ Cl_2 \pi(\bar{x} + \bar{a}) + Cl_2 \pi(\bar{a} - \bar{x}); & \text{при } (\bar{x} + \bar{a}) < 1, \bar{x} < \bar{a} \end{cases}. \quad (12)$$

Нами предложена аппроксимация интеграла Клаузена, которая позволяет с точностью $1 \pm 3\%$ заменить его тригонометрической функцией

$$Cl_2 \pi \xi \cong 1,015 \sin \pi(\xi)^{2/3}. \quad (13)$$

4. Полученное решение

После преобразований представим окончательное решение задачи в элементарных и специальных функциях, где обозначено:

$$\Phi_4 = \operatorname{arctg} \frac{\sin \pi \bar{a}}{e^{\pi \bar{z}} + \cos \pi \bar{a}}; \quad \Phi_5 = \frac{\sin \pi \bar{a}}{ch \pi \bar{z} + \cos \pi \bar{a}} \quad (14)$$

$$\left. \begin{aligned} -\bar{\sigma}_x &= \frac{\mu}{1-\mu} \cdot \frac{a}{l} - \frac{2z}{l} \Phi_1(\bar{x}, \bar{a}, \bar{z}) + \frac{2}{\pi} \Phi_2(\bar{x}, \bar{a}, \bar{z}); \\ -\bar{\sigma}_y &= \frac{a}{l} - \frac{2z}{l} \Phi_1(\bar{x}, \bar{a}, \bar{z}) + \frac{2}{\pi} \Phi_2(\bar{x}, \bar{a}, \bar{z}); \\ S_x &= \frac{2aq(1-\mu^2)}{E} K_x \end{aligned} \right\}, \quad (15)$$

$$\text{где } K_x = \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)^2} \cdot \frac{h}{l} + \frac{l}{\pi^2 a} Lu(\bar{x}, \bar{a}).$$

а) При $x = l$:

$$\left. \begin{aligned} -\bar{\sigma}_{x_l} &= \lambda_o \bar{a} - \frac{2}{\pi} \Phi_4(\bar{a}, \bar{z}) + \bar{z} \cdot \Phi_5(\bar{a}, \bar{z}); \\ -\bar{\sigma}_{y_l} &= \bar{a} - \frac{2}{\pi} \Phi_4(\bar{a}, \bar{z}) - \bar{z} \cdot \Phi_5(\bar{a}, \bar{z}); \\ K_l &= \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)^2} \cdot \frac{h}{l} - \frac{2l}{\pi^2 a} \cdot Cl_2 \pi(1-\bar{a}) \end{aligned} \right\}. \quad (16)$$

б) При $x = 0$:

$$\left. \begin{aligned} -\bar{\sigma}_{x_o} &= \lambda_o \bar{a} + \frac{2}{\pi} \Phi_6(\bar{a}, \bar{z}) - \bar{z} \cdot \Phi_7(\bar{a}, \bar{z}); \\ -\bar{\sigma}_{y_o} &= \bar{a} + \frac{2}{\pi} \Phi_6(\bar{a}, \bar{z}) + \bar{z} \cdot \Phi_7(\bar{a}, \bar{z}); \\ K_o &= \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)^2} \cdot \frac{h}{l} + \frac{2l}{\pi^2 a} \cdot Cl_2 \pi \bar{a} \end{aligned} \right\}, \quad (17)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \Phi_6 &= \operatorname{arctg} \frac{\sin \pi \bar{a}}{e^{\pi \bar{z}} - \cos \pi \bar{a}}; \\ \Phi_7 &= \frac{\sin \pi \bar{a}}{ch \pi \bar{z} - \cos \pi \bar{a}} \end{aligned} \right\}. \quad (18)$$

При учете податливости связей имеем

$$-\bar{\sigma}_x = \frac{1}{\beta + (1-\mu^2)(\rho + \bar{z})} \left[\mu(1+\mu)(\rho + \bar{z})\bar{a} - \beta \left(\frac{2}{\pi} \Phi_4 - \bar{z} \Phi_5 \right) \right] +$$

$$+\frac{2}{\pi}\Phi_2 - 2\bar{z}\Phi_1. \quad (19)$$

Нетрудно заметить, что при малых значениях параметра β формула (19) переходит в (15).

На рис.2 приведены графики изменения горизонтальных и вертикальных напряжений по оси симметрии слоя (при $\mu=0,3$) при различных соотношениях \bar{a} , которые принципиально отличаются от получаемых результатов с использованием решения Фламана. При узких же площадках с $\bar{a} \leq 0,1$ решения практически совпадают. Это видно из анализа формул (17), которые при $a \rightarrow 0$ превращаются в решение Фламана.

При $\bar{a} \rightarrow 0$ и $\bar{z}=0$ из (17) получим $\bar{\sigma}_{x_0} = \bar{\sigma}_{y_0} = 1$.

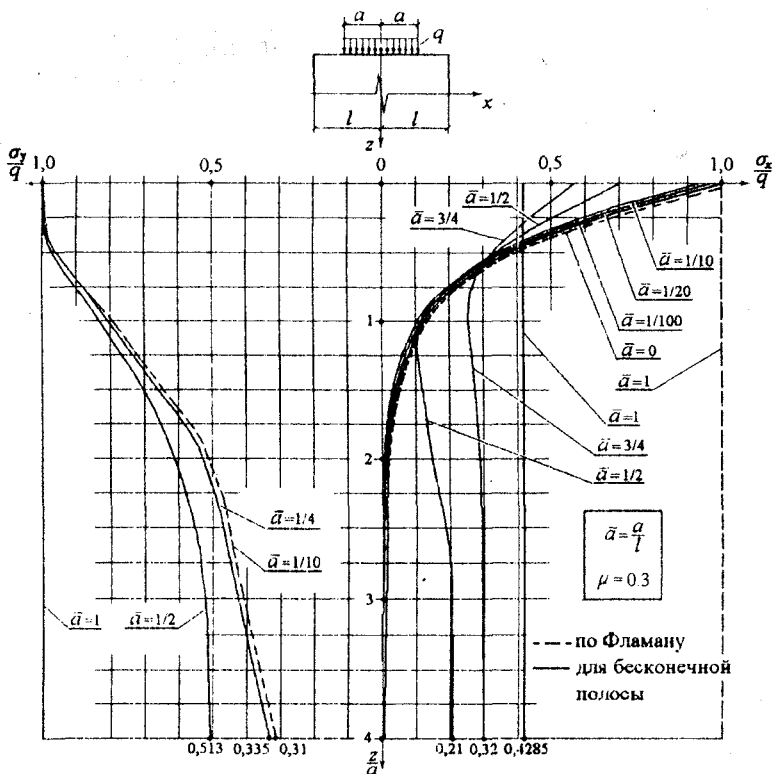


Рис.2

5. Давление грунта на вертикальные ограждения

Все известные решения по определению давления грунта на ограждающие конструкции подземных сооружений в рамках теории упругости [4, 9] основаны на использовании интегрирования решений Фламана и Буссинеска. В силу изложенного выше анализа подобных решений становится ясно, почему они завышают и искажают распределение давления на ограждения. Это же является причиной их существенного расхождения с расчетами по теории предельного равновесия [10] и натурными экспериментами.

Для определения давления на неподвижную стенку используем прием, согласно которому местная нагрузка симметрично располагается относительно оси симметрии y [4, 9]. При этом возможны три случая:

а) если площадка нагружения шириной a примыкает к стенке, распределение давления описывается формулой (17). На рис.3 это соответствует вариантам загрузки 1, 2 и 4;

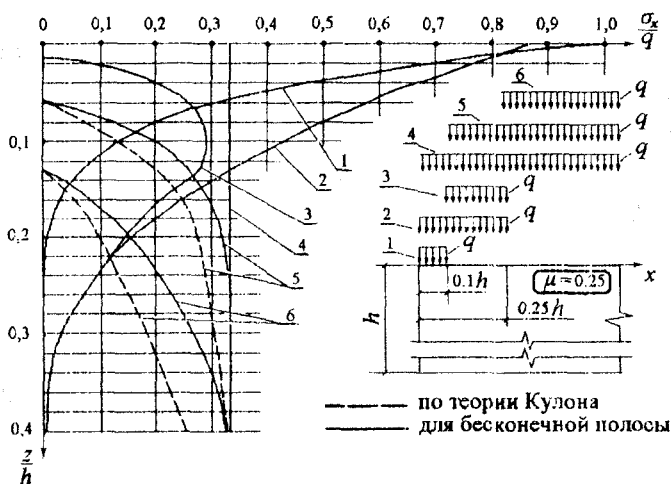


Рис.3

б) если нагрузка отстоит от стенки на расстоянии a и бесконечно простирается (до $x=l$), то горизонтальное давление описывается зависимостью

$$\bar{\sigma}_x = -\lambda_o(1 - \bar{a}) + \frac{2}{\pi} \Phi_6(\bar{a}, \bar{z}) - \bar{z} \cdot \Phi_7(\bar{a}, \bar{z}). \quad (20)$$

Этот случай представлен схемами 5, 6 на рис.3, где дано сравнение с нашим точным решением по теории Кулона [10];

в) в общем случае местной нагрузки, распределенной по площадке шириной b , отстоящей на расстоянии a от стенки (схемы 2, 3 на рис.3), давление описывается формулой

$$-\bar{\sigma}_x = \lambda_o \frac{b}{l} + \frac{2}{\pi} \left[\operatorname{arctg} \frac{\sin \pi(\bar{a} + \bar{b})}{e^{\pi \bar{z}} - \cos \pi(\bar{a} + \bar{b})} - \operatorname{arctg} \frac{\sin \pi \bar{a}}{e^{\pi \bar{z}} - \cos \pi \bar{a}} \right] - \bar{z} \left[\frac{\sin \pi(\bar{a} + \bar{b})}{ch \pi \bar{z} - \cos \pi(\bar{a} + \bar{b})} - \frac{\sin \pi \bar{a}}{ch \pi \bar{z} - \cos \pi \bar{a}} \right]. \quad (21)$$

6. Расчет ширины слоя

Как известно [11], толщина слоя h зависит от размеров площадки нагружения $b = 2a$, интенсивности внешней нагрузки q и, на основании опытных данных, определяется двумя способами:

$$\text{при } a < 5 \text{ м} \quad h = 5\sigma_y(h)/\gamma,$$

$$\text{при } a \geq 5 \text{ м и среднем давлении } q = 300 \text{ кПа для средних грунтов} \\ h = 7,5 + 0,25a.$$

Для определения расчетной ширины слоя $2l$ для узких площадок ($a < 5$ м) используем тот факт, что полученное решение при соотношении $\frac{a}{l} \leq 0,1$ совпадает с решением Фламана, применяющимся нормами [10]. Поэтому при $a < 5$ м можно принимать

$$l = h \left(1 + \frac{a}{h} \right). \quad (22)$$

При широких площадках загрузки следует рассмотреть условие равновесия горизонтальных сил на границе слоя ($x = l$):

$$\lambda_o q a \frac{h}{l} = \frac{\gamma h^2}{2\lambda_o} t,$$

где t – коэффициент, зависящий от уровня нагрузки, изменяющийся от $t=0$ при $q=0$ до $t=1$ при реализации полного пассивного отпора грунта.

Если принять предельное значение $t=1$, то для несвязных грунтов со средними характеристиками получим при $x=l$ горизонтальное смещение U равным

$$U = \frac{\gamma}{K \cdot \lambda_o} = \frac{20 \cdot 3}{1200} = 0,05 \text{ м} = 5 \text{ см.}$$

Поэтому в целях безопасной эксплуатации зданий и сооружений, взаимодействующих с грунтом, принимаем $t=0,2$. При этом условии получим для широких площадок ($a > 5 \text{ м}$)

$$l = 5\lambda_o^2 \cdot \bar{q} \cdot \frac{a^2}{h}, \quad (23)$$

где \bar{q} – интенсивность внешней распределенной нагрузки, равная [10]

$$\bar{q} = \frac{2q}{\gamma a}. \quad (24)$$

Здесь γ – удельный вес грунта.

На основе зависимостей (22), (23) найдем соотношение l/h для средних нагрузок $q = 300 \text{ кПа}$ и средних грунтов ($\mu = 0,25$), используя полученное решение для σ_{y_o} (17). Результаты расчета представим в таблице.

$a \text{ (м)}$	$a \leq 5 \text{ м}$				$a \geq 5 \text{ м}$		
	0,7	2,7	3,8	5,0	5,0	10,0	20,0
\bar{q}	30	7,4	5,3	4,0	4,0	2,0	1,0
h/a	10	5	4	3,5	1,75	1	0,62
l/h	1,1	1,2	1,25	1,3	1,3	2,0	2,56

Данные таблицы показывают, что для обычных грунтов и средних нагрузок соотношение l/h находится в диапазоне $1 \leq \frac{l}{h} \leq 2$.

6. Заключение

1. Доказана ошибочность применения фундаментальных решений Фламана, Буссинеска и Маргерра для определения напряжений в реальном основании, загруженном распределенными нагрузками, так как в этих решениях принята бесконечно малая площадка загрузки по отношению к размерам массива. В доказательство этого, кроме изложенного выше решения, рассмотрена полоса со свободной границей при $x=l$, что соответствует принятию

$\beta = \infty$ в формуле (19). И в этом случае при $\frac{a}{l} \rightarrow 0$ получается решение Фламана. Интегрирование же фундаментальных решений

при распределенных нагрузках недопустимо, поскольку игнорируются реальные граничные условия.

2. Предложена модель основания в виде линейно-деформируемого слоя конечной ширины, соединенного с окружающим массивом податливыми связями, и получено решение в элементарных и специальных функциях.
3. Осадки поверхности основания выражены с помощью новой специальной функции, названной нами Lu , которая может быть представлена в виде комбинаций функций (интегралов) Клаузена или предложенной нами аппроксимации (13) в обычных тригонометрических функциях.
4. Приведены зависимости для определения горизонтального давления грунта на подпорные стены при всех возможных положениях нагрузки q .

На рис. 2, 3 показано, что решения, полученные нами в данной работе для теории упругости, и полученные ранее для теории предельного равновесия Кулона [10], дают близкий характер распределения давления грунта. При этом для протяженных нагрузок, отстоящих от стенки, в обоих случаях практически совпадает глубина z_0 , с которой начинается передача бокового давления.

5. Предложена методика определения расчетной ширины слоя.
6. Так как толщина и ширина слоя зависят от интенсивности внешнего нагружения \bar{q} , то в общем случае определения напряженно-деформированного состояния основания принцип независимости действия собственного веса грунта и внешней нагрузки не применим, что соответствует нашим выводам об использовании теории Кулона [10] и нормам [11].

1. Флорин В. А. Основы механики грунтов. Т. 1. – М.-Л.: Госстройиздат, 1959. – 357 с.

2. Цытович Н. А. Механика грунтов. – М.-Л.: Госстройиздат, 1963. – 636 с.

3. Рекач В. Г. Руководство к решению задач теории упругости. – М.: Высшая школа, 1966. – 227 с.

4. Клейн Г. К. Расчет подпорных стен. – М.: Высшая школа, 1964. – 196 с.

5. Горбунов-Посадов М. И. Осадки фундаментов на слое грунта, подстилаемом скальным основанием. – М.: Стройиздат, 1946. – 60 с.

6. Тимошенко С. П., Дж. Гудьер. Теория упругости. – М.: Наука, 1975. – 575 с.

7. Прудников А. П. и др. Интегралы и ряды. – М.: Наука, 1984. – 798 с.

8. Абрамовиц М., Сиган И. Справочник по специальным функциям. – М.: Наука, 1979. – 830 с.

9. Глушков Г. И. Расчет сооружений, заглубленных в грунт. – М.: Стройиздат, 1977. – 295 с.

10. Лучковский И.Я. Влияние местных нагрузок на характер распределения давления грунта на ограждающие конструкции / ОФимГ. – 1991. – №4. – С.24-27.

11. НИИОСП им. Герсеванова. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). – М.: Строиздат, 1986. – 415 с.

Получено 29.03.2000

УДК 692.42/47:728

М.Г. ТЕРЕНТЮК, канд. техн. наук

Полтавський державний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЯКОСТЕЙ БАГАТОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ ІЗ ТЕПЛОЗБЕРІГАЮЧИМИ ГОРИЩАМИ В ЗИМОВІ ПЕРІОДИ

Висвітлено результати натурних експериментальних досліджень експлуатаційних якостей запропонованих багатоповерхових житлових будинків із теплозберігаючими горищами в зимові періоди.

Всесторонні експериментальні випробування та дослідження експлуатаційних якостей запропонованих об'ємно-конструктивних рішень житлових і громадських будинків проведені в натурних умовах на 9-поверховому великопанельному житловому будинку із теплозберігаючим горищем серії ІФ-94, який розташований в II температурній зоні України.

Конструктивне рішення житлового будинку з теплозберігаючим горищем наступне:

зовнішні огорожуючі конструкції на поверхах – керамзитобетонні стінові панелі з пінополістирольним утеплювачем товщиною 350 мм;

переkritтя верхнього поверху – збірні залізобетонні панелі переkritтя $b=160$ мм;

зовнішні огорожуючі конструкції теплозберігаючого горища – керамзитобетонні стінові панелі товщиною 350 мм;

покриття горища – збірні безрулонні залізобетонні покрівельні панелі товщиною 250 мм при нахилі $i=0,05$ [1,2].

Висота теплозберігаючого горища біля зовнішніх парпетних стін 2,3 м, а під водозбірним лотком – 1,6 м.

Випробування та дослідження проводили на окремо стоячій блок-секції. По всьому периметру будинку теплозберігаюче горище було повністю огорожено глухими зовнішніми парпетними стінами. Щоб виключити будь-який вплив зовнішнього середовища на температурний режим горища, вихід на нього здійснювали через двері, що герметично закриваються.