

М.С.Грицул

УДК 624.072.233

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ
БАЛКИ-СТЕНКИ НА ОРТОТРОПНОМ ОСНОВАНИИ

В данной работе излагается итерационный метод определения деформаций и напряжений балки-стенки на грунтовых основаниях, обладающих различной степенью анизотропии. Для этого решается пространственная задача теории упругости анизотропного тела в перемещениях с применением конечно-разностного метода, предложенного Е.Ф.Винокуровым [2]. Грунтовое основание аппроксимируется пространственной решеткой с шагом $\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$, а балка-стенка — плоской сеткой с шагом $\Delta x \cdot \Delta z$ (см.рис.1).

Из-за неопределенности решения теории упругости по краям штампа первая точка сетки в балке-стенке расположена не на ее границе, а на расстоянии, равном $\Delta x/2$, что в свою очередь облегчает решение задачи при составлении уравнений равновесия.

Основные уравнения для определения перемещений и осадки жесткого штампа в ортотропном основании изложены в работе [4], где грунтовое основание представлено моделью слоя конечной толщины. Однако экспериментальными исследованиями установлено, что у многих видов грунтов по краям штампа, даже при незначи-

тельных нагрузках, имеет место разрыв поверхности основания. Поэтому в данной работе для определения напряженно-деформированного состояния основания предлагается использовать модель олоя конечной толщины с учетом разрыва деформаций по краям штампа. В этом случае уравнения системы (С) [4] для определения перемещений в точках, лежащих рядом со штампом, будут иметь следующий вид (см. рис. 1):

1) для точки $M-N-1$

$$\begin{aligned} W_{i,j,k} &= W_{i,j,k+1} + \frac{M_1 \Delta z}{Q_1 \Delta x} (U_{i,j,k} - U_{i-1,j,k}) + \\ &+ \frac{N_1 \Delta z}{Q_1 \Delta y} (V_{i,j+1,k} - V_{i,j-1,k}); \\ U_{i,j,k} &= U_{i,j,k+1} + \frac{\Delta z}{\Delta x} (W_{i,j,k} - W_{i-1,j,k}); \end{aligned} \quad (1)$$

2) для точки

$$\begin{aligned} W_{i,j,k} &= W_{i,j,k+1} + \frac{M_1 \Delta z}{Q_1 \Delta x} (U_{i+1,j,k} - U_{i,j,k}) + \\ &+ \frac{N_1 \Delta z}{2 Q_1 \Delta y} (V_{i,j+1,k} - V_{i,j-1,k}); \\ U_{i,j,k} &= U_{i,j,k+1} + \frac{\Delta z}{\Delta x} (W_{i+1,j,k} - W_{i,j,k}). \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнение для $V_{i,j,k}$ не изменяется.

Для крайних точек, лежащих под штампом ($M-N = M+N$), будут иметь место следующие уравнения:

$$\begin{aligned} U_{i,j,k} &= U_{i,j,k+1} + \frac{\Delta z}{\Delta x} (W_{i+1,j,k} - W_{i,j,k}); \\ U_{i,j,k} &= U_{i,j,k+1} + \frac{\Delta z}{\Delta x} (W_{i,j,k} - W_{i-1,j,k}); \\ W_{i,j,k} &= W_0 - N \Delta x \operatorname{tg} \alpha, \end{aligned} \quad (3)$$

где W_0 и $\operatorname{tg} \alpha$ определяются по системе (Д) [4],

N - число точек на половине длины балки.

При определении величины реактивного давления под подошвой балки-стенки можно использовать уравнения системы (У-53) [2]. Однако, для предложенной модели в крайних точках под штампом напряжения σ_p будут определяться по следующим уравнениям:

1) для точки $M-N$

$$\sigma_p = \frac{M_1}{\Delta x} (U_{i+1,j,k} - U_{i,j,k}) + \frac{N_1}{\Delta y} (V_{i,j+1,k} - V_{i,j-1,k}) + \frac{P_1}{\Delta z} (W_{i,j,k+1} - W_{i,j,k}); \quad (4)$$

2) для точек $M + N$

$$\sigma_r = \frac{M_1}{\Delta x} (u_{i,j,k} - u_{i-1,j,k}) + \frac{N_1}{2\Delta y} (v_{i,j+1,k} - v_{i,j-1,k}) + \frac{Q_1}{\Delta z} (w_{i,j,k+1} - w_{i,j,k}). \quad (5)$$

После определения величин реактивного давления можно вычислить перемещения и напряжения балки-стенки, для чего решается плоская задача теории упругости анизотропного тела в перемещениях. Для определения перемещений в промежуточных точках используются уравнения (IV-46) [2]. Исходя из них для координатных осей x, y можно записать:

$$u_{i,k} = \frac{1}{\beta_1} \left[\frac{\beta_1}{4\Delta x \Delta z} (u_{i+1,k} + u_{i-1,k}) + \frac{\sigma_{xy}}{\Delta z^2} (u_{i,k+1} + u_{i,k-1}) + \right. \\ \left. + \frac{\beta_2 + \sigma_{xy}}{4\Delta x \Delta z} (w_{i+1,k+1} + w_{i-1,k-1} - w_{i+1,k-1} - w_{i-1,k+1}) \right]; \\ w_{i,k} = \frac{1}{\beta_4} \left[\frac{\beta_4}{4\Delta z^2} (w_{i,k+1} + w_{i,k-1}) + \frac{\sigma_{xy}}{\Delta x^2} (w_{i+1,k} + w_{i-1,k}) + \right. \\ \left. + \frac{\beta_3 + \sigma_{xy}}{4\Delta x \Delta z} (u_{i+1,k+1} + u_{i-1,k-1} - u_{i+1,k-1} - u_{i-1,k+1}) \right], \\ \text{где } \beta_1 = 2 \left(\frac{\beta_1}{\Delta x^2} + \frac{\sigma_{xy}}{\Delta z^2} \right); \quad \beta_4 = 2 \left(\frac{\beta_4}{\Delta z^2} + \frac{\sigma_{xy}}{\Delta x^2} \right);$$

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ — коэффициенты, определяемые по уравнениям (IV-29) [2].

Для установления контурных значений перемещений используются следующие граничные условия:

1. По верхней грани напряжения σ_z и τ_{xz} определяются величиной действующей нагрузки:

$$\sigma_z = -q; \quad \tau_{xz} = 0; \quad (7)$$

2. По боковым граням:

$$\sigma_x = 0; \quad \tau_{xz} = 0; \quad (8)$$

3. По нижней грани напряжения равны реактивному давлению:

$$\sigma_z = -\sigma_r; \quad \tau_{xz} = -\tau_r \quad (9)$$

При условии проскальзывания грунта по подошве конструкции реактивные касательные напряжения τ_r равны нулю.

На основании условий (7,8,9), используя уравнения (IV-56) [2], вычисляются перемещения u и w для контурных точек балки-стенки. По известным значениям перемещений определяются

напряжения σ_x , σ_z и τ_{xz} .

Для численного решения задачи рассматривалась бетонная балка-стенка длиной l и высотой h ($l = 1,5 h$) с гибкостью $t < 1$, которая определялась по уравнению (74) [3]. При $t < 1$ считается, что балка-стенка является абсолютно жесткой и ее изгиб не влияет на характер распределения реактивного давления по подошве.

Решение задачи запрограммировано на языке "ФОРТРАН" для ЭВМ "Минск-32". На рис. 1 изображены графики напряжений σ_x и реактивных давлений для следующих вариантов:

1) для модели слоя конечной толщины. Грунт изотропный.

2) для модели слоя конечной толщины. Грунт трансверсально-изотропный.

3) для модели слоя конечной толщины с учетом разрыва деформаций по краям штампа. Грунт трансверсально-изотропный.

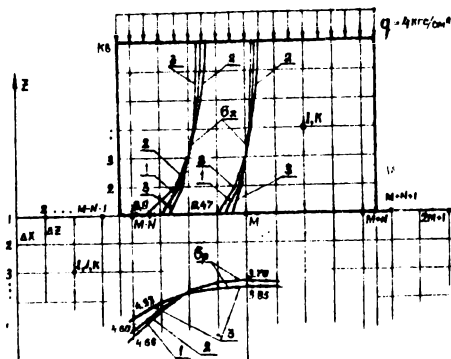


Рис. 1. Графики напряжений и реактивных давлений для бетонной балки-стенки

а нормальные напряжения σ_x , при этом уменьшались в 1,8 раза по сравнению с решением для модели слоя конечной толщины. Осадка увеличивалась на 16%.

При сравнении результатов решения изотропного и трансверсально-изотропного основания с коэффициентом анизотропии $K_a = 2$ получено, что концентрация напряжений в эпюре реактивного давления увеличилась на 1,2%. При этом напряжения σ_x в балке-стенке увеличились на 32%. Осадка основания для второго варианта уменьшилась на 25%. Если $K_a < 1$, то наблюдается обратная картина.

Таким образом, результаты численного решения показывают, что при учете анизотропии грунта имеет место значительное изменение напряженного состояния в конструкции. Применение модели слоя конечной толщины с учетом разрыва деформаций по краям штампа дает меньшую концентрацию реактивного давления, что сильно влияет на величину напряжений в балке-стенке и дает более точную картину ее напряженного состояния.

Л и т е р а т у р а

1. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. М.-Л., Гостехиздат, 1950.
2. Винокуров Е.Ф. Итерационный метод расчета оснований и фундаментов с помощью ЭВМ. Киев, "Наукова думка", 1972.
3. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А. Расчет конструкций на упругом основании. М., Стройиздат, 1973.
4. Грицук М.С., Шевчук Л.И. Алгоритм расчета ортотропного грунтового основания. Тезисы докладов УП конференции молодых ученых и специалистов Прибалтики и БССР по проблемам стройматериалов и конструкций. Вильнюс, "ВНИИТеплоизоляция", 1974.