

УДК 624.131.: 624.15

КРЕНЫ ФУНДАМЕНТОВ С КОЛЬЦЕВОЙ ФОРМОЙ ПОДОШВЫ НА УПРУГОМ ВОДОНАСЫЩЕННОМ, А ТАКЖЕ ОБЛАДАЮЩЕМ СВОЙСТВОМ ПОЛЗУЧЕСТИ ОСНОВАНИИ

*к.т.н., Головки А.С.**ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»*

Постановка проблемы. Эксплуатация многих инженерных сооружений с кольцевой формой подошвы фундаментов показывает достаточно высокую экономичность и эффективность их применения. При проектировании и эксплуатации таких фундаментов возникает необходимость определения как текущих, так стабилизированных значений кренов.

Анализ последних исследований. Для определения кренов кольцевых фундаментов выполнены основные исследования в части определения стабилизированных значений, протекания осадок [1-5].

Формулировка целей. Определение кренов во времени с последующей оценкой состояния сооружений на стадии эксплуатации с использованием методик, базирующихся на результатах определения стандартных характеристик грунтов является важной задачей для обоснования устойчивости и надежности сооружений.

Изложение основного материала исследований. В настоящей статье приведены материалы теоретических исследований, направленных на определение кренов фундаментов с кольцевой формой подошвы на водонасыщенном упругом основании, обладающем свойством ползучести в рамках расчетной схемы слоя конечной толщины при постоянной во времени или ступенчато – изменяющейся моментной нагрузке.

Для решения задачи использована теория старения, которая при постоянной или ступенчато изменяющейся во времени нагрузке на фундамент позволяет обеспечить достаточную точность расчетов.

Необходимо также отметить, что случай ступенчато – возрастающей нагрузки на фундамент является достаточно общим, поскольку путем варьирования величины и продолжительности действия отдельных ступеней нагрузки можно с достаточной степенью точности аппроксимировать практически любые зависимости «нагрузка на фундамент – время».

Расчетная схема фундамента принята согласно ранее приведенных в [1] схем и теоретических предпосылок.

Для того, чтобы фундамент находился в равновесии, в любой момент времени t должно быть обеспечено равенство действующих на фундамент опрокидывающего и удерживающего моментов.

В этом случае должно выполняться условие:

$$\dot{I}_{\text{оп}} = Q \cdot e = M_{\text{уд}} = \sum_{k=1}^n q_k(t) \cdot A_k \cdot x_k \quad (1)$$

где A_k - площадь k -того граничного элемента.

Из (1) имеем:

$$\vec{q}(t) = i(t) \cdot [B_{km}(t)]^{-1} \cdot \vec{x} = i(t) \cdot [\tilde{N}_{km}(t)] \cdot \vec{x}, \quad (2)$$

где $[B_{km}(t)]^{-1} = [\tilde{N}_{km}(t)]$.

Для k -той строки равенство (2) имеет вид:

$$q_k(t) = i(t) \cdot [\tilde{N}_{k1}(t) \cdot x_1 + \tilde{N}_{k2}(t) \cdot x_2 + \tilde{N}_{k3}(t) \cdot x_3 + \dots + \tilde{N}_{kn}(t) \cdot x_n] = \\ = i(t) \cdot \sum_{m=1}^n \tilde{N}_{km}(t) \cdot x_m \quad (3)$$

Далее подставив (3) в (1). Имеем:

$$Q \cdot e = \sum_{\hat{e}=1}^n q_k(t) \cdot x_k = i(t) \cdot \sum_{\hat{e}=1}^n \left\{ \sum_{m=1}^n \tilde{N}_{km}(t) \cdot x_m \right\} \cdot x_k \cdot A_k, \quad (4)$$

откуда крен фундамента равен:

$$i(t) = \frac{Q \cdot e}{\sum_{\hat{e}=1}^n \left\{ \sum_{m=1}^n \tilde{N}_{km}(t) \cdot x_m \right\} \cdot x_k \cdot A_k}, \quad (5)$$

Наконец, с учетом равенства $x_k = \rho_k \cdot \cos(\varphi_k)$ найдем окончательно крен фундамента с кольцевой формой подошвы:

$$i(t) = \frac{Q \cdot e}{\sum_{\hat{e}=1}^n \left\{ \sum_{m=1}^n \tilde{N}_{km}(t) \cdot \rho_m \cdot \cos(\varphi_m) \right\} \cdot \rho_k \cdot \cos(\varphi_k) \cdot A_k}, \quad (6)$$

Равенство (6) неудобно для практического использования, т.к. алгоритм его построения включает в себя процедуру построения обратной матрицы. Поэтому для практических вычислений алгоритм определения крена фундамента с кольцевой формой подошвы на грунтовом слое конечной толщины был принят следующим.

1. Определяются координаты центров тяжести и площади граничных элементов.

2. Определяются функции влияния матрицы податливости $B_{km}(t)$.

3. В предположении о том, что в момент времени t_j крен фундамента равен единице, решается система линейных алгебраических уравнений вида

$$[B_{km}(t)] \cdot \vec{q}(t) = \vec{x} \quad (7)$$

В результате решения (7) определяются соответствующие единичному крену давления в пределах каждого из граничных элементов q_k в момент времени t .

4. Далее по формуле

$$N_k(t) = q_k(t) \cdot A_k \quad (8)$$

определяются приложенные в центре тяжести каждого из граничных элементов сосредоточенные силы N_k в момент времени t .

5. По формуле

$$M_k(t) = N_k(t) \cdot x_k \quad (9)$$

определяются обусловленные единичным креном фундамента удерживающие моменты в момент времени t .

6. По формуле

$$M_{\text{дд}}(t) = \sum_{k=1}^n M_k(t) = \sum_{k=1}^n N_k(t) \cdot x_k = \sum_{k=1}^n q_k(t) \cdot A_k \cdot x_k \quad (10)$$

определяются обусловленный единичным креном фундамента суммарный удерживающий момент в момент времени t .

7. По формуле

$$i^\Phi(t) = \frac{Q \cdot e}{\sum_{k=1}^n N_k(t) \cdot x_k} = \frac{Q \cdot e}{\sum_{k=1}^n q_k(t) \cdot A_k \cdot x_k} \quad (11)$$

определяется фактический крен фундамента в момент времени t , обусловленный фильтрационной консолидацией основания.

8. Если водонасыщенное основание обладает свойством ползучести, то крен фундамента следует определять по формуле

$$i(t) = i^\Phi(t) + \int_0^t K(t, \tau) i^\Phi(\tau) d\tau \quad (12)$$

Здесь $K(t, \tau)$ – ядра ползучести

В ходе проведения численного эксперимента нами варьировались:

- отношения внутреннего диаметра фундамента к наружному $\eta = d/D = R_1/R_2$;

- относительная толщина грунтового слоя конечной толщины $\zeta^* = H/(R_2 - R_1)$;

- модуль общей деформации E ;

- коэффициент пространственной консолидации \bar{N}_V ;

- внешний диаметр фундамента $D = 2R_2$.

Для удобства анализа теоретических данных рассматривались относительное время t^* и крен i^* , которые определялись по формулам:

$$t^* = \frac{4 \cdot C_k \cdot t}{R_2^2} \quad \text{и} \quad i^*(t^*) = \frac{4 \cdot E \cdot R_2^3}{3 \cdot k_e \cdot (1 - \nu^2) \cdot N \cdot e} \cdot i(t^*) \quad (13)$$

Результаты этих исследований представлены на рисунках 1,2,3,4.

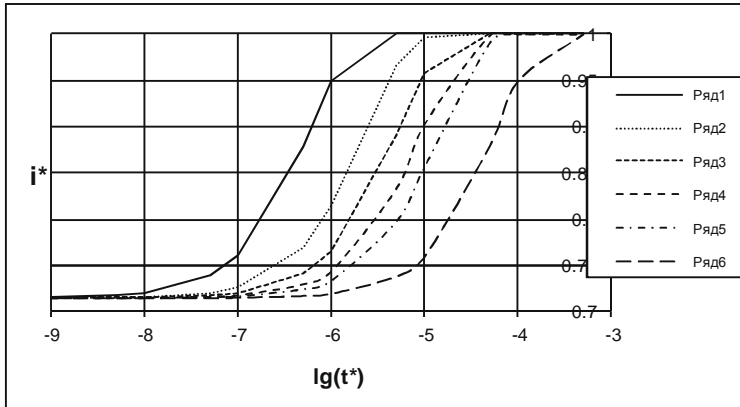


Рис. 1. Зависимости относительных кренов от логарифма безразмерного времени. $\nu = 0,3$; $C_k = const$; $m=R_1/R_2=0,8$; относительная толщина слоя $\zeta^*=H/(R_2-R_1) = 2,5$. 1- $R_2= 1$; 2- $R_2= 2$; 3- $R_2= 3$; 4- $R_2= 4$; 5- $R_2= 5$; 6- $R_2= 10$.

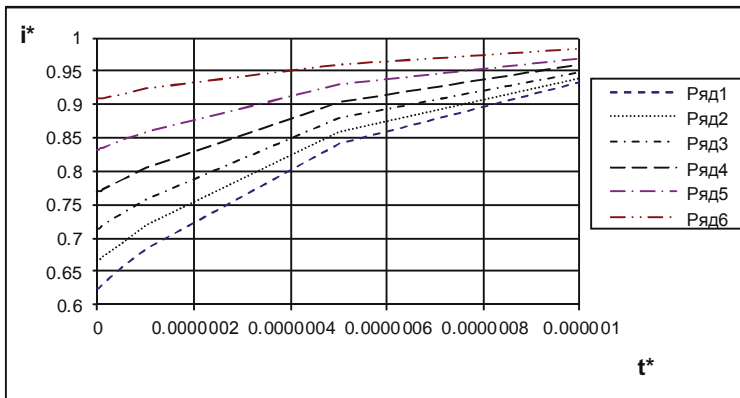


Рис. 2. Зависимости относительных кренов от безразмерного времени. $C_k=const$; $m=R_1/R_2=0,8$; относительная толщина слоя $\zeta^*=H/(R_2-R_1) = 2,5$. 1- $V = 0,2$; 2- $V = 0,25$; 3- $V = 0,3$; 4- $V = 0,35$; 5- $V = 0,4$; 6- $V = 0,45$.

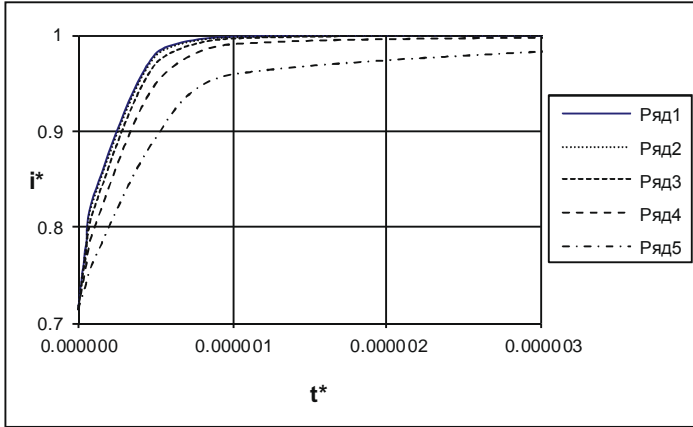


Рис. 3. Зависимости относительных кренов от безразмерного времени. $V = 0,3$; $C_k = \text{const}$; площадь фундамента $F = \text{const}$; относительная толщина слоя $\zeta^* = H/(R_2 - R_1) = 2,5$. 1 - $m = R_1/R_2 = 0$; 2 - $m = R_1/R_2 = 0,2$; 3 - $m = R_1/R_2 = 0,4$; 4 - $m = R_1/R_2 = 0,6$; 5 - $m = R_1/R_2 = 0,8$.

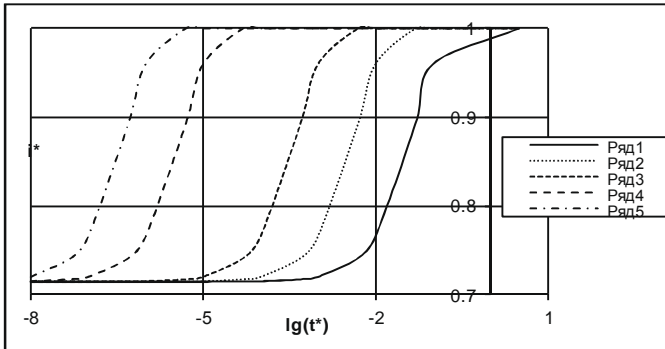


Рис. 4. Зависимости относительных кренов от логарифма безразмерного времени. $V = 0,3$; площадь фундамента $F = \text{const}$; $m = R_1/R_2 = 0,8$; относительная толщина слоя $\zeta^* = H/(R_2 - R_1) = 2,5$. 1 - $C_k = 0,0001$; 2 - $C_k = 0,001$; 3 - $C_k = 0,01$; 4 - $C_k = 0,1$; 5 - $C_k = 1,0$.

Выводы. Анализ представленных на рисунках 1, 2, 3, 4 кривых позволил нам сделать такие выводы.

1. Чем больше площадь фундамента, тем при прочих равных условиях дольше в его основании продолжается процесс фильтрационной консолидации и позже происходит стабилизация его общего крена.

2. При прочих равных условиях, чем больше коэффициент Пуассона ν , тем меньшее время в основании продолжается процесс фильтрационной консолидации и быстрее происходит стабилизация общего крена фундамента.

3. При увеличении коэффициента консолидации основания C_k , быстрее происходит стабилизация общего крена фундамента.

4. С уменьшением относительной толщины грунтового слоя $\zeta^* = \frac{H}{R_2 - R_1}$ (или $\zeta = \frac{H}{R_2}$), уменьшается величина крена фундаментов с кольцевой формой подошвы.

5. Чем меньше относительная толщина грунтового слоя $\zeta^* = \frac{H}{R_2 - R_1}$ (или $\zeta = \frac{H}{R_2}$), тем быстрее наступает стабилизация кренов фундаментов с кольцевой формой подошвы.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Головки А.С. Методика расчета кренов фундаментов с кольцевой формой подошвы на грунтовом слое конечной толщины/ А.С. Головки, В.Г. Шаповал, А.В. Шаповал// Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. Вып. 50. – Днепропетровск: ПГАСА, 2009. – С. 615-619.
2. Шаповал А.В. Особенности взаимодействия водонасыщенных обладающих свойством ползучести оснований со зданиями и сооружениями: дис. кандидата технических наук: 05.23.02 / Шаповал Андрей Владимирович. - Днепропетровск, 2007. - 210 с.
3. Шаповал А.В. Алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния обладающих свойством ползучести водонасыщенных грунтовых оснований методом граничных элементов / А.В. Шаповал// Строительные конструкции: межведомственный научно-технический сборник. – К.: НДІБК, 2006. - №65 - С. 305-310.
4. Цытович Н.А. Механика грунтов : учебн. [для студ. строит. вузов] / Цытович Н.А. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Высш. шк., 1983. – 288 с.
5. Шаповал В.Г. Экспериментальное исследование деформаций оснований кольцевых штампов при расчетной схеме упругого полупространства / В.Г. Шаповал, М.А. Бородин // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА, 1998. – С. 13–17.