

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРЕНА И СОВМЕСТНЫХ ОСАДОК ДВУХ ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

В. С. Михайлов¹, Г. М. Бусыгина²

¹ Новосибирский центр технической поддержки SCAD Office, г. Новосибирск

² Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Рассматривается реализация нормативной методики расчета кренов и осадок больших прямоугольных фундаментных плит. Для выполнения расчетов использована вычислительная среда математического пакета *Smath Studio* или *Mathcad*, позволяющая работать с привычной ручной нотацией и размерными переменными. Результаты расчета используются в качестве проверки результатов расчета моделей, используемых для решения этой же задачи в SCAD.

Ключевые слова: SCAD, *Smath Studio*, *MathCAD*, фундаментная плита, крен, осадки.

При расчете зданий и сооружений совместно с грунтовым основанием в расчетной практике применяется множество моделей оснований. Например, в SCAD реализованы такие упругие модели оснований, как Винклера, Пастернака, Федоровского, а также модель упругого полупространства на основании объемных конечных элементов. При использовании данных моделей и в обосновании принимаемых на их основе проектных решений возникают сложности, связанные с использованием теории идеализированного упругого полупространства. Все указанные модели не регламентируются нормативными документами. Тем не менее, результаты численных решений в SCAD должны быть сопоставлены с аналитическими расчетами по действующим техническим нормам.

Для расчета кренов и осадок больших прямоугольных фундаментных плит площадью более 100 м² и шириной более 10 м оптимальной с точки зрения авторов является нормативная методика [1, Приложение 2.3], которая позволяет учитывать распределительную способность основания и взаимное влияние широких гибких плит на основании экспериментально установленных графических зависимостей и соответствующих им аналитических формул.

Исходными данными для расчета являются (рисунок 1):

- M_x , M_y , N_S – суммарные моменты и вертикальная нагрузка от сооружения на плиту;
- l , b – полудлина и полуширина плиты;
- C_1 – интегральный параметр сопротивления основания сжатию тс/м²,

– s – интегральный параметр распределяющей способности основания.

Для двух однотипных соосно расположенных и одинаково нагруженных плит крен плиты в продольном направлении с учетом влияния соседней плиты определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi_x = \frac{\sum M_x}{2 \cdot s^4 \cdot C_1 y},$$

$$\sum M_x = \pm M_{xq} + \sum M_{Nx} = \pm M_{xq} + \sum N e_{ox},$$

где M_{xq} – момент внешних сил, передающихся на фундаментную плиту; $\sum M_{Nx}$ – момент эксцентриситета e_{ox} от суммарных вертикальных нагрузок $\sum N$ относительно центра жесткости основания, определенного с учетом взаимного влияния плит.

– Выбор формулы для вычисления коэффициента зависит от соотношения ширины и длины плиты

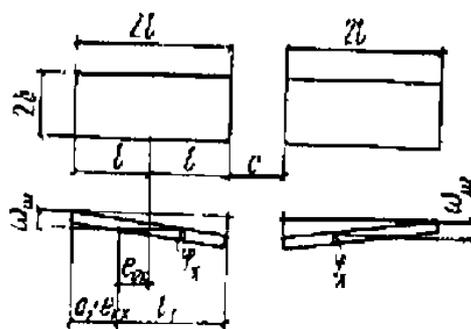


Рисунок 1 – Схема расположения двух фундаментных плит

$$\lg y = \begin{cases} 3.82 \cdot (\lg \bar{b} - 0.398) + \lg y_0^{<1>} & \text{при } l/b \geq 1 \\ 3.82 \cdot (\lg \bar{b} - 0.845) + \lg y_0^{<2>} & \text{при } l/b < 1 \end{cases}$$

где $\bar{b} = b/s$, а величина $\lg y_0^{<1>}$ определяется линейной интерполяцией в зависимости от отношения l/b (таблица 1) [1].

При расчете в математическом пакете графики оцифровываются в табличный вид и для интерполяции используется функция `linterp`

$$y := \begin{cases} 10^{[3.82 \cdot (\log(\frac{b}{s}) - 0.398) + \text{linterp}(lb, \lg 1, \frac{l}{b})]} & \text{if } \frac{l}{b} \geq 1, \\ 10^{[3.82 \cdot (\log(\frac{b}{s}) - 0.845) + \text{linterp}(bl, \lg 2, \frac{b}{l})]} & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Расстояние e_{ox} от центра фундаментной плиты до центра жесткости основания определяется как $e_{ox} = \overline{e_{0x}} \cdot s$.

Величина $\overline{e_{0x}}$ находится методом табличной интерполяции с учетом экстраполяции при оцифровке графика (рисунок 2) [1].

Таблица 1

l/b	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,5	3	3,5	4
lg y ₀	1,678	1,908	2,104	2,273	2,424	2,558	2,842	3,078	3,273	3,445
b/l	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,5	3	3,5	4
lg y ₀	1,678	3,127	2,934	2,786	2,604	2,501	2,227	1,994	1,843	1,667

Входом в таблицу являются значения аргументов по вертикали и горизонтали – левый столбец $bs = b/s$, верхняя строка $lb = l/b$.

Фрагмент вычисления:

$$j1 = \begin{cases} j1 \leftarrow 0 & \text{if } \frac{l}{b} \leq e0x_{0,1} \\ \text{for } i \in 1 \dots m & \text{otherwise} \\ j1 \leftarrow i & \text{if } e0x_{0,i} < \frac{l}{b} \end{cases}$$

$$j1 := \text{if}(j1 = 0, 1, j1), \quad j1 := \text{if}(j1 = 19, 18, j1),$$

$$j2 := j1 + 1,$$

$$e01 := \text{linterp}(e0x^{(0)}, e0x^{(j1)}, \frac{b}{s}),$$

$$e02 := \text{linterp}(e0x^{(0)}, e0x^{(j2)}, \frac{b}{s}),$$

$$e01 := \text{linterp} \left[\begin{matrix} (e01_{0,j1}) \\ (e0x_{0,j2}) \end{matrix}, \begin{matrix} (e01) \\ (e02) \end{matrix}, \frac{l}{b} \right],$$

$$\begin{pmatrix} e0x_{0,j1} \\ e0x_{0,j2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,9 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} e01 \\ e02 \end{pmatrix}.$$

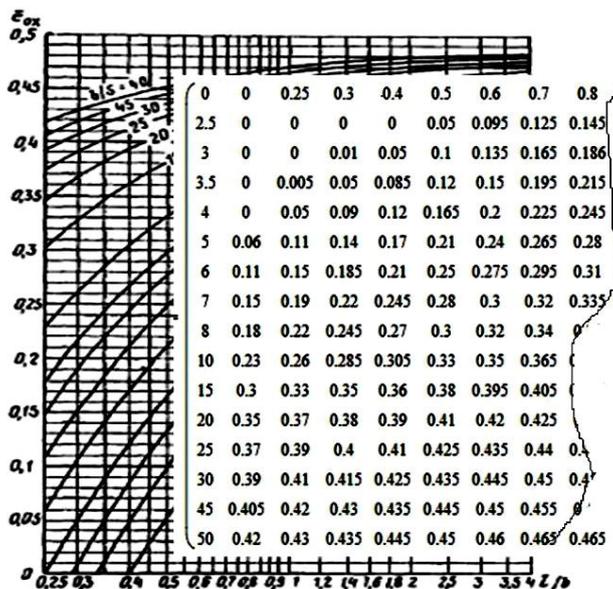


Рисунок 2 – Данные для определения e_{0x}

Если $c/b > 0$, то значение пересчитывается по формуле

$$e_{0x} = e_{0x} \cdot K,$$

где K аналогично находится методом табличной интерполяции (рисунок 3). Входом в таблицу являются значения c/b и b/s .

После задания и расчета всех исходных данных определяется угол $\varphi_x = \text{atan}(\text{tg}\varphi_x)$.

Крен плиты в поперечном направлении с учетом влияния соседней плиты определяется по формуле

$$\text{tg } \varphi_y = \frac{\sum M_y}{2C1 \left[\frac{2l + s \left(2 - e^{-\frac{1}{s}} \right)}{3} b^3 + 2ls((b-s)^2 + s^2) \right]}$$

где $\sum M_y = \pm M_{y0}$.

Осадка плиты с учетом взаимного влияния

$$\omega = \frac{\sum N}{2C1 \left(2l(b+s) + bs \left(2 - e^{-\frac{1}{s}} \right) \right)}$$

Величина s вычисляется как

$$s = b/\varepsilon_0,$$

где ε_0 зависит от $H/b = 12/5 = 2,1$ (отношение глубины сжимаемой толщи к полуширине), μ (коэффициент поперечного расширения грунта) и $n = l/b$. E_0 определяется методом табличной интерполяции при оцифровке графика (рисунок 4) [1].

Второй нормативной методикой предварительного расчета взаимного влияния двух соседних зданий может быть расчет осадки и крена в программе ЗАПРОС для отдельно стоящего абсолютно жесткого столбчатого фундамента с учетом нагрузки от соседнего фундамента. Данный расчет использует модель линейно упругого основания, основанного на математических зависимостях задачи Буссинеска и расширенного решения Фламанна для этой задачи путем интегрирования по прямоугольной области с целью вычисления напряжений в основании на заданной глубине под угловой точкой фундаментной плиты.

Рассмотрим пример расчета, реализованный в программе ЗАПРОС комплекса SCAD по СП и в математическом пакете по пособию к СНИП взаимного влияния двух фундаментных плит для возводимых очередями с расстоянием 0,5 м между плитами двух условных шестнадцатизэтажных зданий (рисунок 5).

Фундаментная плита имеет размеры 10×10 м ($l = b = 5$ м) с толщиной $h = 0,8$ м. Габариты конструкций зданий имеют такие размеры, которые формируют собственный вес всего сооружения, равный 1000 т.

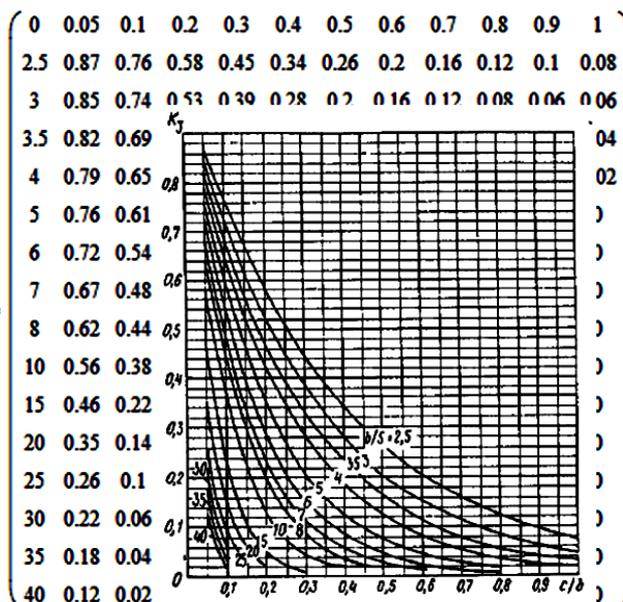


Рисунок 3 – Данные для определения коэффициента K в зависимости от c/b и b/s

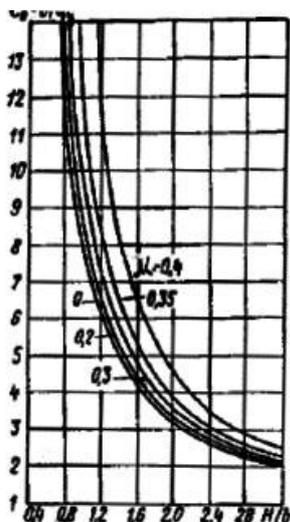


Рисунок 4 – Данные для определения ϵ_0

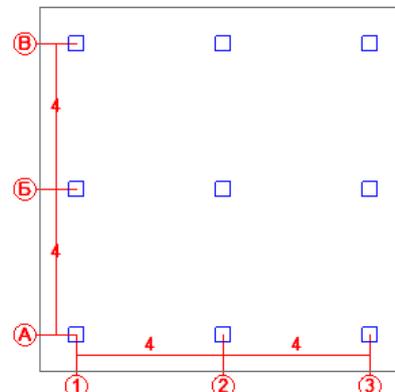
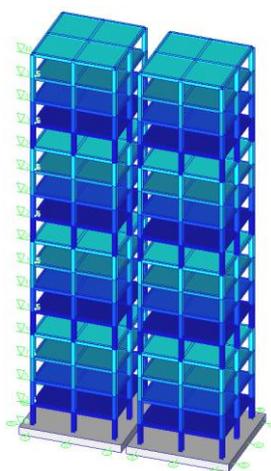


Рисунок 5 – Вид двух рассматриваемых условных зданий на плитных фундаментах

Вертикальная нагрузка от суммарного веса колонн, балок, перекрытий и плиты с учетом коэффициента включения $K = 2$, учитывающего прочие возможные воздействия, составляет $N = 2000$ т. Толщина единственного слоя грунта ИГЭ-2 составляет 12 м в рамках сжимаемой толщи. Верх грунта на отметке 100 м и низ фундаментной плиты на отметке 100 м приняты на одном уровне для расчета максимального значения возможных осадок за счет отсутствия влияния от веса грунта выше подошвы плиты.

Грунтовые воды отсутствуют. Основанием является супесчаный грунт с удельным весом 2 т/м^3 , модулем упругости 1200 т/м^2 , коэффициентом Пуассона 0,3, показателем текучести 0,2, коэффициентом пористости 0,55, удельным сцеплением $1,7 \text{ т/м}^2$ и углом внутреннего трения 29° . Расчетное сопротивление грунта $R = 30 \text{ т/м}^2$, что в полтора раз выше среднего давления под фундаментной плитой.

В математическом пакете при расчете взаимного влияния двух гибких плит по пособию к СНиП принимаем следующие исходные данные: $N = 2000$ т, $L \times b = 5 \times 5$ м, $C = 0,5$ м, $C1 = 213 \text{ т/м}^3$, $s = 1,37$ м.

В результате выполнения расчета получаем значение крена плиты φ_x и значение средней осадки плиты ω_p

$$y = 202,115; \quad \epsilon_0 = 0,239 \text{ м}; \quad \varphi_x = 0,092; \\ \omega_p = 64,629 \text{ мм.}$$

На основании полученных значений крена и средней осадки в центре жесткости фундамента могут быть вычислены его осадки в любой точке без учета локальных деформаций гибкой железобетонной плиты.

Результаты осадок двух соседних абсолютно жестких фундаментов, которые могут быть получены при расчете в сателлите ЗАПРОС в составе вычислительного комплекса SCAD Office, являются завышенными и имеют меньшую точность, поскольку в заложенной методике упругого полупространства не учитывается распределительная способность основания. Распределение нагрузки в точки вокруг фундаментной плиты позволяет получить осадочную воронку с деформациями, как в пределах, так и за границами фундамента, в результате чего при неизменных нагрузке и совершаемой работе, будет деформирована большая область грунтового массива и, следовательно, должна быть получена меньшая осадка.

В ЗАПРОС приняты следующие параметры: глубина заложения подошвы фундамента от уровня планировки $H = 0$ м; глубина заложения подошвы фундамента относительно естественного рельефа $H_z = 0$ м; предельная величина деформации фундамента 180 мм, остальные входные параметры представлены на рисунке 6. Результаты расчета показаны в таблице 2.

Основной недостаток расчета в ЗАПРОС – учет только общих осредненных дополнительных осадок без вычисления крена при взаимном влиянии соседних фундаментов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРЕНА И СОВМЕСТНЫХ ОСАДОК ДВУХ ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Координаты центра		Размеры подошвы		Продольная сила N, т
X, м	Y, м	A, м	B, м	
5	5	10	10	2000
15,5	5	10	10	2000

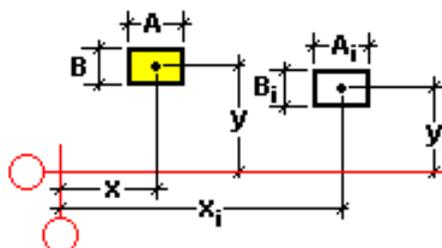


Рисунок 6 – Задание исходных данных в ЗАПРОС

Таблица 2

Наименование	1 фундамент	2 фундамента
Расчетное сопротивление грунта в уровне подошвы фундамента	34,26 т/м ²	34,26 т/м ²
Среднее давление от нагрузок (включая вес тела фундамента, грунта и пола) в уровне подошвы фундамента	20 т/м ²	20 т/м ²
Осадка основания	84,22 мм	93,96 мм
Просадка от нагрузки	0	0
Просадка от веса грунта	0	0
Сумма осадки и просадки	84,22 мм	93,96 мм
Глубина сжимаемой толщи	12 м	12 м
Винклеровский коэффициент постели	237 т/м ³	213 т/м ³

Кроме того, полученные результаты на 45% превышают результаты расчета по нормативной методике для гибких фундаментных плит, что связано с отсутствием учета распределительной способности основания и рассмотрения работы фундамента, как абсолютно жесткого штампа, прорезающего грунт по периметру плиты в зонах развития пластических деформаций.

Таким образом, показано, что рассмотренное численное решение по методике [1, приложение 2.3] может быть использовано как нормативное значение осадок и кренов гибких плитных фундаментов с широкими плитами, для проверки результатов расчета в SCAD, где анализ взаимного влияния двух одинаковых соседних зданий может быть выполнен с использованием дополнительных, не регламентированных техническими нормами моделей основания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию фундаментных плит и каркасных зданий. – М. : Стройиздат, 1976. – 128 с.
2. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. – М. : Изд-во стандартов, 2011. – 161 с.
3. ЗАПРОС. Расчет элементов оснований и фундаментов. Руководство пользователя. / В. С. Кравченко, Э. З. Криксунов, М. А. Перельмутер, Л. Н. Скорук. – М. : SCAD Soft, 2006. – 33 с.

Михайлов В.С. – руководитель Новосибирского центра технической поддержки SCAD Office, E-mail: mvs@scadsoft.ru.

Бусыгина Г.М. – к.э.н., доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: galinab14@yandex.ru.