

После отбора кернов из тела стенки в местах с наиболее интенсивной на профиле чёрной заливкой установлено, что материал стены в них состоит из однородного цементного камня практически без посторонних примесей. После сравнения радарограмм с результатами инженерно-геологических изысканий оказалось, что в местах с тёмной заливкой на профиле стенка проходит через песчаные грунты.

Таким образом, георадарные изыскания – это метод, который при небольших затратах труда и времени может позволять оперативно оценить состояние и сплошность конструкций, качество выполняемых работ, строение основания т.д. Применение георадарного метода для решения различных инженерных задач в настоящее время приобретает все более широкие масштабы. Это объясняется простотой и удобством проведения полевых работ и высокой производительностью метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изюмов, С.В. Теория и методы георадиолокации: учеб. пособие. – М.: Изд-во «Горная книга», Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 2008. – 196 с.
2. Владов, М.Л. Георадиолокационные исследования верхней части разреза: учеб. пособие / М.Л. Владов, А.В. Старовойтов. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 90 с.
3. Владов, М.Л. Введение в георадиолокацию: учеб. пособие / М.Л. Владов, А.В. Старовойтов. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 153 с.
4. Старовойтов, А.В. Интерпретация георадиолокационных данных; учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2008. – 192 с.
5. Малинин, А.Г. Струйная цементация грунтов / А.Г. Малинин. – Пермь: Пресстайм, 2007. – 168 с.

УДК 624.151.1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УШИРЕННЫХ ЦЕНТРАЛЬНО НАГРУЖЕННЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Н.А. ПОПЕЛ, С.П. ШАРОХ

(Представлено: канд. техн. наук, доц. В.Н. КИСЕЛЕВ)

Представлены практические рекомендации по проектированию уширенных центрально нагруженных фундаментов. Предложена методика определения осадки фундаментов, основанная на использовании формулы Шлейхера. Методика рассмотрена на конкретных примерах. Рекомендовано выражение для расчёта осадки фундамента, возводимого способом уширения для инженерных расчётов.

При определении расчётного сопротивления грунта основания необходимо учитывать, что в результате длительного нагружения строительные свойства грунтов обычно улучшаются. Это позволяет назначать повышенное по сравнению с расчётным (по ТКП 45-5.01-67-2007 [1]) сопротивление грунта [2]. В работе [3] на основе экспериментальных исследований, а также анализа материалов изысканий приводятся эмпирические формулы для определения углов внутреннего трения и удельного сцепления песчаных грунтов, отвечающих рассматриваемому моменту времени t .

Пески средней крупности:

$$\begin{aligned}\varphi_t &= \varphi_0 + 0,0614t; \\ c_t &= c_0 + 0,000372t.\end{aligned}\tag{1}$$

Пески мелкие:

$$\begin{aligned}\varphi_t &= \varphi_0 + 0,0369t; \\ c_t &= c_0 + 0,000490t;\end{aligned}\tag{2}$$

Пески пылеватые:

$$\begin{aligned}\varphi_t &= \varphi_0 + 0,0662t; \\ c_t &= c_0 + 0,000109t,\end{aligned}\tag{3}$$

где φ_0 и φ_t – углы внутреннего трения соответственно до момента нагружения и через промежуток времени t после нагружения; c_0 и c_t – удельное сцепление до момента нагружения и через промежуток времени t после нагружения; t – время в годах.

С учётом этих зависимостей повышенное расчётное сопротивление песков рекомендуется определять из выражения:

$$R_{нов} = R_{фс} K_E, \quad (4)$$

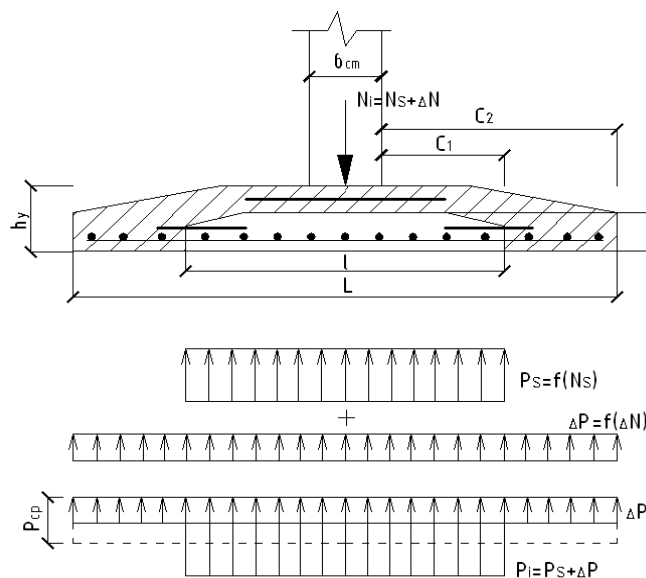
где $R_{фс}$ – расчётное сопротивление песка, полученное по формулам (1)–(3) и ТКП 45-5.01-67-2007; K_E – коэффициент, учитываемый улучшение строительных свойств грунтов в результате длительного нагружения. В таблице 1 приведены результаты значения K_E , полученные в работе [3].

Таблица 1

Значения коэффициента K_E

Вид грунта	Предшествующее дополнительному нагружению, фактическое давление, МПа	Длительность загрузки основания, t , год			
		20	40	60	80
Пески крупные и средней крупности, средней плотности	0,1	10,2	1,04	1,06	1,1
	0,2	1,1	1,15	1,18	1,25
	0,3	1,25	1,332	1,40	1,5
	0,4	1,45	1,48	1,50	1,55
Пески мелкие, пылеватые, средней пыльности и плотные	0,1	1,06	1,15	1,25	1,35
	0,2	1,13	1,25	1,35	1,48
	0,3	1,18	1,35	1,55	1,70
	0,4	1,08	1,25	1,40	1,65

Величину уширения фундамента $\Delta L = (L - l)$ следует назначать из условия, чтобы средние нормальные давления $P_{ср}$ (рисунок) на грунт основания не превышали расчётного сопротивления $R_{нов}$. Здесь можно напомнить, что подсоединённые участки фундамента создают боковые пригрузки, которые препятствуют распространению зон пластических деформаций, возникающих до его наращивания. Поскольку это обстоятельство создает дополнительный запас прочности основания, сопротивление грунта $R_{нов}$ можно увеличить, если расчётные осадки фундамента не превышают допустимые по условиям эксплуатации.



Расчётная схема уширенного фундамента
в предположении кусочно-ленточного распределения реактивного давления

Требуемая высота усиляемого фундамента, рассчитываемого на изгиб h_y (рис. 1), при усилении материалом, прочностные и деформативные свойства которого идентичны основному, должна определяться из выражения:

$$h_y = \sqrt{\frac{(\theta - \sigma_{1y} / R)}{(1/h^2 - \sigma_{1y} / R)}}, \quad (5)$$

а в случае усиления иным материалом из выражения:

$$h_y = \sqrt{\frac{(\psi_1 - \sigma_{1y} / R)}{n_1(1/h^2 - \sigma_{1y} / R)}}, \quad (6)$$

где θ – степень повышения первоначальной несущей способности фундаментного элемента после усиления (определяется по формуле $\theta = S_0 / S$); σ_{1y} – ремонтные напряжение (в период работ по усилению) на грани сечения усиливаемого элемента; R – расчётное сопротивление материала существующего фундамента; h – первоначальная высота сечения; n_1 и ψ_1 – расчётные параметры, выражения для которых имеют вид:

$$n_1 = \frac{K(1 - \nabla_1^2) + \nabla_1^2}{2\nabla_1 + 2K(1 - \nabla_1)}. \quad (7)$$

$$\psi_1 = \nabla_1^2(3n_1 - \nabla_1) + 3\nabla_1(n_1 - \nabla_1)(2n_1 - \nabla_1) + 2K(n_1 - \nabla_1)^3 + 2K(1 - n_1)^3. \quad (8)$$

В формулах (7)–(8) использованы буквенные обозначения: K – соотношение модулей упругости усиливающего и основного материалов ($K = E_{\sigma 2} / E_{\sigma 1}$); ∇_1 – относительная высота усиленного элемента: $\nabla_1 = h / h_y$.

Необходимо отметить, что не во всех случаях усиления фундаментов требуется увеличить высоту их сечения. Как известно, прочностные характеристики бетона в благоприятных естественных условиях возрастают во времени. Для оценки этого фактора может быть использована следующая формула:

$$R_t = R_{28} \frac{\lg t}{\lg 28}, \quad (9)$$

где R_t – прочность бетона на момент времени t ; R_{28} – прочность бетона в возрасте 28 суток; t – время в днях с момента изготовления бетонного элемента.

Поэтому рекомендуется каждый фундамент перед проектированием усиления подвергать исследованию с целью определения фактических характеристик материала.

Для того чтобы воспользоваться выражениями (5)–(6) необходимо определить показатель θ , который в случае расчёта изгибаемых элементов имеет вид:

$$\theta = M_i / M_s, \quad (10)$$

где M_i – изгибающий момент, который может воспринять усиленная фундаментная плита; M_s – фактический изгибающий момент в том же сечении до усиления.

Используя предположение о кусочно-равномерном распределении контактного давления на подошве усиленного фундамента, нетрудно получить приближённое выражение для определения θ .

В соответствии с обозначениями, принятыми на рисунке 1, изгибающий момент по грани стены после усиления:

$$M_i = \frac{p_s c_1^2 + \Delta p c_2^2}{2} = \frac{N_s c_1^2 + (N_i - N_s) c_2^2}{2}, \quad (11)$$

то же до усиления:

$$M_s = \frac{p_s c_1^2}{2} = \frac{N_s c_1^2}{2}, \quad (12)$$

откуда

$$\theta = 1 + \frac{(N_i - N_s) l c_2^2}{N_s L c_1^2}. \quad (13)$$

После назначения геометрических размеров уширяемого фундамента производится окончательный расчёт его тела, учитывающий последовательность возведения и различную деформативность грунта в центре и под краями. Деформационные характеристики основания могут определяться по результатам парных статических испытаний штампов малой площади с кольцевой пригрузкой непосредственно в

эксплуатируемых зданиях. При этом одно испытание следует производить с заведением штампа под подошву фундамента, а второе в непосредственной близости от места первого в зоне последующего уширения фундаментной плиты.

Для облегчения расчёта в таблице 1 приведены значения $\theta = M_i / M_0$ (определяются по формуле $\theta = N_{st} / N_{it} + (1 - N_s / N_i)$), характеризующие степень уменьшения изгибающих моментов в уширенной плите по отношению к аналогичным моментам в плите, возведенной сразу. Для того чтобы использовать данную таблицу, необходимо определить изгибающие моменты в обычной плите тех же конечных размеров и несущей равную нагрузку с уширенной. Затем в зависимости от значений отношений l / L и N_s / N_i при помощи выражения (14) найти величину максимального изгибающего момента M_i в усиленном фундаменте:

$$M_i = \theta_1 M_0, \quad (14)$$

где M_0 – лимитирующий изгибающий момент в обычном листе; θ_1 – показатель степени уменьшения изгибающих моментов, значения представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значения θ_1

Относительный уровень нагрузок N_s / N_i	Отношение начальной ширины фундамента к конечной l / L				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0,4	0,76	0,80	0,84	0,84	0,92
0,5	0,7	0,75	0,80	0,85	0,90
0,6	0,64	0,70	0,76	0,82	0,88
0,7	0,58	0,65	0,72	0,79	0,86
0,8	0,52	0,60	0,68	0,76	0,84

Заключительным этапом расчёта является подбор арматуры фундаментной плиты в соответствии с определёнными эпюрами изгибающих моментов и перерезывающих сил.

В практических расчётах дополнительная осадка Δs уширенного фундамента может определяться одним из методов, реализующих расчётную схему в виде линейно-деформируемого полупространства и рекомендованных нормами. При этом осадка Δs определяется от добавочной нагрузки ΔN , действующей по всей площади усиленного фундамента.

Конструктивные схемы усиления фундамента могут быть следующими. По первой схеме производится оголение примыкающей к краю существующего фундамента арматуры, приварка к ней стальных выпусков и последующее бетонирование. По второй – высверливание перфораторами отверстий в теле фундамента, вставка в них арматурных стержней в виде выпусков, замоноличивание этих выпусков путём инъецирования цементного раствора, окончательное бетонирование.

Для определения осадки (без ЭВМ) фундамента, возводимого способом уширения, может быть рекомендован метод, который основан на использовании формулы Шлейхера. Осадка фундамента в таком случае будет

$$s_s = \frac{\omega_1 (1 - \mu^2) N_s}{\sqrt{F_s E_1}}, \quad (15)$$

где F_s – площадь подошвы фундамента до уширения; ω_1 – коэффициент, зависящий от формы подошвы фундамента до уширения, берётся по таблице 3; E – модуль деформации грунта основания.

Дополнительная осадка определяется по формуле

$$\Delta s = \frac{\omega_2 (1 - \mu^2) (N_i - N_s)}{\sqrt{F_i E_2}}, \quad (16)$$

где F_i – окончательная площадь подошвы фундамента; ω_2 – коэффициент, зависящий от формы подошвы уширенного фундамента (табл. 3); E – модуль деформации грунта основания.

Полная осадка уширенного фундамента определяется по формуле:

$$s = s_s + \Delta s = \frac{(1 - \mu^2) \left[\omega_1 N_s \sqrt{F_i E_2} + \omega_2 (N_i - N_s) \sqrt{F_s E_1} \right]}{\sqrt{F_s F_i E_1 E_2}}. \quad (17)$$

Значения коэффициента ω к формуле Шлейхера

Форма загрузки площади	ω_c (угловые точки)	ω_0 (центр)	ω_m (средняя осадка)	ω_{const} (абсолютно жёсткие)
Круг	0,64	1,00	0,85	0,79
Квадрат $\alpha = a; b = 1$	0,56	1,12	0,95	0,88
Прямоугольники				
$\alpha = 1,5$	0,68	1,36	1,15	1,08
$\alpha = 2,0$	0,77	1,53	1,30	1,22
$\alpha = 3,0$	0,89	1,78	1,53	1,44
$\alpha = 4,0$	0,98	1,96	1,70	1,61
$\alpha = 5,0$	1,05	2,10	1,83	1,72
$\alpha = 6,0$	1,12	2,23	1,96	–

Осадка аналогичного фундамента, загруженного после полного его возведения

$$s_0 = \frac{\omega_2(1-\mu^2)N_i}{\sqrt{F_i}E_1}. \quad (18)$$

Отношение осадок рассматриваемых фундаментов:

$$k = \frac{s}{s_0} = \frac{\omega_1\sqrt{F_1}E_2N_s + \omega_2\sqrt{F_s}E_1(N_i - N_s)}{\omega_2\sqrt{F_s}E_2N_1} = \frac{\sqrt{F_i/F_s} \cdot \omega_1/\omega_2 N_s + E_1/E_2(N_i - N_s)}{N_i}, \quad (19)$$

или

$$k = (a-b)N_s / N_i + b, \quad (20)$$

где $a = \sqrt{F_i/F_s} \cdot \omega_1/\omega_2$, $b = E_1/E_2$.

Осадка уширенного фундамента, таким образом, может быть определена из выражения

$$s = ks_0, \quad (21)$$

где s_0 – осадка аналогичного фундамента, возведенного традиционным способом и определенная в соответствии с рекомендациями норм.

Известно, что предпосылки, используемые при выводе формулы Шлейхера, не в полной мере учитывают условия работы грунта под реальным фундаментом. Однако отношения между величинами осадок фундаментов, вычисленных иными способами, мало отличаются от отношения между осадками тех же фундаментов, определенных по формуле Шлейхера. Это даёт возможность определять осадку уширенного фундамента по осадке соответствующего ему возведенного в один приём фундамента, используя зависимость (21). При анализе формулы (19) нетрудно заметить, что осадки уширенного под нагрузкой фундамента будут превышать осадки обычного фундамента ($k > 1$). Представляется логичным, что увеличение осадок происходит в основном за счёт большей деформации слоя грунтового массива мощностью h_1 , залегающего непосредственно под подошвой уширенного фундамента. В этом слое будут действовать большие дополнительные вертикальные напряжения по сравнению с аналогичными при одноэтапном возведении опорного элемента. Общеизвестно, что распределение напряжений и деформаций для внутренних точек тела (при недостаточном удалении их от границы) слабо зависит от закона распределения статически эквивалентной нагрузки на границах тела (принцип Сен-Венана). Поэтому начиная с некоторой глубины, напряжённо-деформированное состояние грунтового массива будет почти одинаковым как в случае поэтапного, так и в случае традиционного возведения.

Необходимо отметить, что способ расчёта осадок дает достаточно хорошую сходимость результатов с натурными испытаниями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фундаменты плитные. Правила проектирования: ТКП 45-5.01-67-2007 (02250) / М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь. – Минск, 2008.

2. Пособие по проектированию фундаментов на естественном основании под колонны зданий и сооружений (к СНиП 2.03.01-84 и СНиП 2.02.01-83).
3. Далматов, Б.И. Фундаменты зданий на слабых грунтах / Б.И. Далматов // Труды VII Дунайско-Европейской конф. по механике грунтов и фундаментостроению. – Кишинев, 1983.
4. Далматов, Б.И. Проектирование и устройство фундаментов около существующих зданий / Б.И. Далматов. – Л: ЛДНТП, 1973.
5. Ежов, Е.Ф. Исследование дополнительных осадок фундаментов сооружений при устройстве около них ограждающих шпунтовых стенок: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.Ф. Ежов. – Л., 1980.

УДК 624.012.45

РАСЧЕТ БАЛКИ КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ НА УПРУГОМ ВИНКЛЕРОВСКОМ ОСНОВАНИИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.И. ЛЯСКОВСКИЙ

(Представлено: канд. техн. наук, доц. В.Н. КИСЕЛЕВ)

Рассматривается расчет балки конечной длины на упругом Винклеровском основании методом конечных элементов. Получены функции для определения внутренних усилий, а также функции для угла поворота и прогиба балки.

Для решения поставленной задачи необходимы следующие исходные данные:

- длина балки составляет некоторую величину L , (м);
- модуль упругости материала балки равен E , (МПа);
- момент инерции поперечного сечения балки I_x , (см⁴);
- ширина подошвы балки, по которой происходит контакт с основанием b , (см);
- коэффициент постели упругого основания c , (N / м³).

К балке в качестве внешнего воздействия могут быть приложены:

- сосредоточенные силы F_k . Каждая из них характеризуется индексом k , величиной и координатой точки приложения a_k ;
- сосредоточенные изгибающие моменты m_i . Каждый из них характеризуется индексом i , величиной и координатой точки приложения c_i ;
- распределённые нагрузки q_e . Каждая из них характеризуется индексом e , величиной, координатой точки начала их приложения n_k и координатой точки конца их приложения k_k .

Начало координат поместим в крайнюю левую точку балки. Ось Z направим вправо вдоль балки, ось Y направим вверх.

Разобьём по длине нашу балку на некоторое количество элементов. Эту величины назовём как «точность». То есть если «точность» = 100, то балка разбита на 100 участков (конечных элементов). Каждому элементу присвоим свой порядковый номер (индекс j). При этом. $j := 0, 1 \dots \text{точность}$.

Каждый из конечных элементов балки получит свою координату по оси Z . И каждый из этих элементов опирается на жёсткую пружину.

Жёсткость основания:

$$\alpha := c \cdot b. \quad (1)$$

Введем обозначение:

$$L_{eq} = \left(\frac{4EI_x}{\alpha} \right)^{\frac{1}{4}}. \quad (2)$$

В решении воспользуемся функциями:

$$\begin{aligned} Y_1(z) &:= \cosh(z) \cdot \cos(z); \\ Y_2(z) &:= 0,5 \cdot (\cosh(z) \cdot \sin(z) + \sinh(z) \cdot \cos(z)); \\ Y_3(z) &:= 0,5 \cdot \sinh(z) \cdot \sin(z); \\ Y_4(z) &:= 0,25 \cdot (\cosh(z) \cdot \sin(z) - \sinh(z) \cdot \cos(z)). \end{aligned} \quad (3)$$