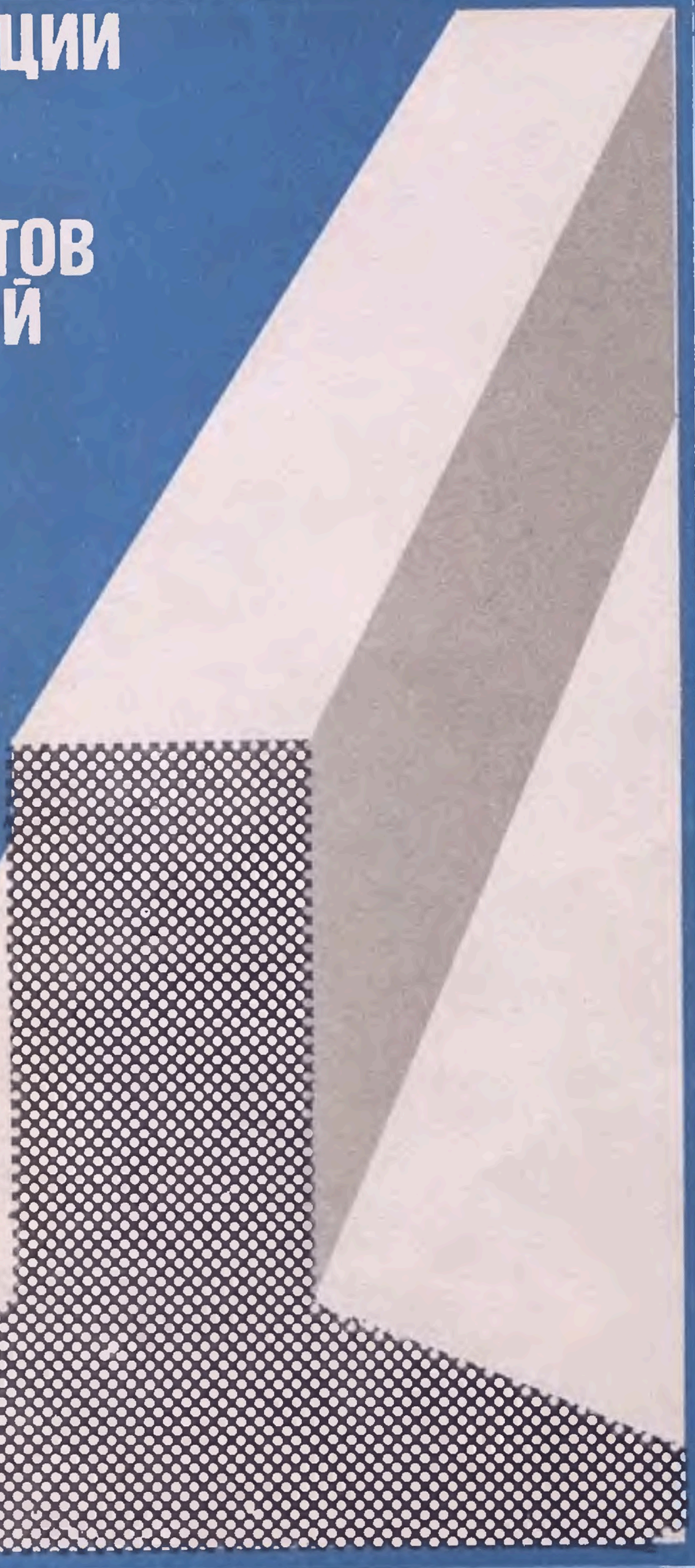
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ С НАКЛОННОЙ ПОДОШВОЙ



ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ
И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
ИМ Н.М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

МОСКВА
1983

gost.e-ecolog.ru

Содержание

I. Общие положения 3
П. Расчет оснований по первому предельному состоянию (по несущей способности)..... 4
Ш. Расчет оснований по второму предельному состоянию (по деформациям)..... I2
IУ. Примеры расчета I7
Приложения. Номограммы для определения коэффициентов N_γ и N_q 24

Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ С НАКЛОННОЙ ПОДОШВОЙ

Отдел патентных исследований и научно-технической информации

Зав.отделом А.И.Юшин
Редактор Л.В.Пузанова

Л -92542. Подп. к печати 22/УШ-85 . Заказ № 35
Формат 60х90 I/I6. Бумага офсетная . Набор машинописный.
Уч -изд-л I,6 . Тираж 500 экз. Цена 55 коп

Производственные экспериментальные мастерские ВНИИИС Госстроя СССР
I2I47I. Москва, Можайское шоссе, 25

ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ
И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
ИМ. Н.М ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ С НАКЛОННОЙ ПОДОШВОЙ

МОСКВА
1983

УДК 624.I5.046

Рекомендации по расчету оснований фундаментов с наклонной подошвой разработаны д-ром техн.наук Е.А.Сорочаном, кандидатами техн.наук А.С.Снарским, Л.Н.Теренецким, М.И.Леиновым на основе исследований, выполненных в лаборатории естественных оснований и конструкций фундаментов НИИ оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова Госстроя СССР.

Рекомендации содержат разработанную применительно к фундаментам с наклонной подошвой методику расчета оснований по несущей способности, апробированную на ряде объектов сельского строительства.

Методика расчета по деформациям соответствует методике, принятой в СНиП П-I5-74 и СНиП П-I6-76.

Рекомендации предназначены для инженеров-проектировщиков.

Консультации по расчету оснований фундаментов с наклонной подошвой можно получить в НИИ оснований и подземных сооружений Госстроя СССР (I09389, Москва, 2-я Институтская ул., д.6, тел. I7I-89-22).

(C) Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова, I983

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящие рекомендации разработаны в развитие главы СНиП П-I5-74 " Основания зданий и сооружений"(М.,Стройиздат,1975). и распространяются на фундаменты с наклонной подошвой, возводимые в скальных, песчаных и глинистых грунтах, находящихся в стабилизированном состоянии. Рекомендации не распространяются на торфы, илы, вечномерзлые, просадочные и набухающие грунты.

I.2. Целесообразность применения фундаментов с наклонной подошвой устанавливается путем сравнения их с другими вариантами фундаментов (фундаменты с горизонтальной подошвой, свайные фундаменты и др.).

I.3. Устройство фундаментов с наклонной подошвой целесообразно в случае передачи значительных горизонтальных нагрузок на основание, т.е. когда надфундаментная конструкция представляет собой распорную систему - арочную или рамную. Фундаменты с наклонной подошвой целесообразно устраивать при глубине заложения подошвы, не превышающей, как правило, I,5 м.

I.4. Нагрузки на фундамент, их сочетания и коэффициенты надежности по нагрузке для расчета оснований по предельным состояниям определяются в соответствии с требованиями главы СНиП П-6-74 "Нагрузки и воздействия," а также главы СНиП П-I5-74 (пп.3,6-3.8) "Основания зданий и сооружений."

I.5. По способу изготовления фундаменты с наклонной подошвой могут быть монолитные и сборные.

I.6. Оптимальный угол наклона подошвы фундамента α к горизонту определяется расчетом и зависит от соотношения горизонтальной и вертикальной составляющей нагрузок на фундамент и значения угла внутреннего трения грунта основания. Рекомендуется принимать значения α не более 0,8 φ_I (φ_I - расчетное значение угла внутреннего трения грунта).

I.7. При определении размеров фундамента и угла наклона его подошвы к горизонту следует стремиться к тому, чтобы эксцентриситет равнодействующей нагрузок на фундамент в плоскости его подошвы был близким к нулю.

I.8. Земляные работы по устройству котлованов под фундамен-

ты целесообразно выполнять бульдозером при глубине заложения фундаментов до 0,5 м и экскаватором при большей глубине. В обоих случаях окончательная зачистка дна котлована производится вручную по шаблону с отсыпкой выравнивающего слоя песка или устройством подготовки из тощего бетона под всей подошвой фундамента.

1.9. При обратной засыпке пазух грунтом следует уплотнить засыпку со стороны наиболее заглубленной грани фундамента, чтобы исключить возможность сползания его по грунту.

II. РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ (ПО НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ)

2.1. Расчет оснований по первому предельному состоянию производится исходя из условия

$$F \leq \frac{\gamma_c F_u}{\gamma_n}, \qquad (1)$$

где F - расчетная нагрузка на основание, кН;

γ_c - коэффициент условий работы, принимаемый равным I для песков. Для песков пылеватых, а также пылевато-глинистых грунтов в стабилизированном состоянии он равен 0,9; Для грунтов (скальных) невыветрелых и слабовыветрелых, выветрелых, сильновыветрелых γ_c равен соответственно I; 0,9; 0,8,

F_u - сила предельного сопротивления основания, кН;

γ_n - коэффициент надежности по назначению принимается равным I,2; I,I5 и I,I0 для зданий и сооружений соответственно I, II и III классов.

2.2. Нормальная к подошве фундамента составляющая силы предельного сопротивления основания N_u, кН, сложенного скальными грунтами, независимо от глубины заложения фундамента вычисляется по формуле

$$N_u = R_c\, b'\, \ell', \qquad (2)$$

где R_c - расчетное значение предела прочности на одноосное сжатие скального грунта, кПа;

b' и ℓ' - соответственно приведенные ширина и длина фундамента, м, вычисляемые по формулам:

$$b' = b - 2|e_b|; \quad l' = l - 2|e_l|, \qquad (3)$$

где e_b и e_l – соответственно эксцентриситеты приложения равнодействующих нагрузок в направлении продольной и поперечной осей фундамента, м.

2.3. Нормальную к подошве составляющую силы предельного сопротивления основания N_u, сложенного нескальными грунтами, допускается определять аналитическим методом, если фундамент имеет плоскую подошву, грунты основания ниже подошвы однородны до глубины не менее ее ширины, а в случае различной вертикальной нагрузки с разных сторон фундамента наибольшая из них не превышает $0,5R$ (R – расчетное сопротивление основания, определяемое по п.3.4 настоящих Рекомендаций), пользуясь формулой

$$N_u = b' l' (N_\gamma \xi_\gamma b' \gamma_I' + N_q \xi_q \gamma_I' d + N_c \xi_c c_I), \qquad (4)$$

где b' и l' – обозначения те же, что в формуле (2), причем символом b обозначена сторона фундамента, в направлении которой предполагается потеря устойчивости основания;

N_γ и N_c – безразмерные коэффициенты несущей способности, определяемые по табл. I и 2 в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения грунта φ_I, угла наклона подошвы фундамента к горизонту α и угла δ между нормалью к подошве фундамента и равнодействующей внешней нагрузки на основание F в уровне подошвы фундамента;

N_q – безразмерный коэффициент, определяемый по формуле

$$N_q = N \operatorname{tg} \varphi_I + 1, \qquad (5)$$

γ_I и γ_I' – расчетные значения удельного веса грунтов, кН/м^3, находящихся в пределах возможной призмы выпирания соответственно ниже и выше подошвы фундамента (при наличии подземных вод удельный вес определяется с учетом взвешивающего действия воды);

c_I – расчетное значение удельного сцепления грунта, кПа;

d – глубина заложения наиболее поднятой стороны подошвы фундамента, м;

ξ_γ, ξ_q и ξ_c – коэффициенты формы подошвы фундамента, определяемые

по формулам:

$$\xi_\gamma = 1 - 0{,}25\eta \; ; \quad \xi_q = 1 + 1{,}5\eta \; ; \quad \xi_c = 1 + 0{,}3\eta \qquad (6)$$

при $\eta = \frac{e}{b} \leq 1$;

$$\xi_\gamma = 1 - 0{,}25/\eta \; ; \quad \xi_q = 1 + 1{,}5/\eta \; ; \quad \xi_c = 1 + 0{,}3/\eta \qquad (7)$$

при $\eta = \frac{e}{b} > 1$;

e и b – длина и ширина фундамента, принимаемые в случае внецентренного приложения равнодействующей равными приведенным значениям e' и b', определяемым по формулам (3).

Угол δ между нормалью к подошве фундамента и направлением равнодействующей определяется из условия

$$tg\,\delta = \frac{Q}{N} \; , \qquad (8)$$

где Q и N – соответственно касательная и нормальная составляющие внешней нагрузки на основание F в уровне подошвы фундамента.

Расчет по формуле (4) допускается выполнять, если соблюдается условие $\delta < \varphi_I$. (9)

Примечания: 1. Значения коэффициентов N_γ и N_q могут быть определены по номограммам (см.прил.1 и 2). Значение коэффициента N_c определяется в этом случае по соотношению (5); 2. При использовании формулы (4) в случае неодинаковой пригрузки с разных сторон фундамента в составе горизонтальных нагрузок следует учитывать активное давление грунта; 3. Если условие (9) не выполняется, следует производить расчет фундамента по схеме плоского сдвига в соответствии с указаниями п.2.4 настоящих Рекомендаций.

2.4. Расчет основания по схеме плоского сдвига производится исходя из условия

$$\sum F_{sa} \leq \frac{\gamma_c \sum F_{sr}}{\gamma_n} \; , \qquad (10)$$

где $\sum F_{sa}$ и $\sum F_{sr}$ – суммы проекций на плоскость скольжения расчетных сдвигающих и удерживающих сил, определяемых с учетом активного и пассивного давлений грунта на боковые грани фундамента, кН;

γ_c и γ_n - обозначения те же, что в формуле (I).

2.5. Суммы сдвигающих ΣF_{3a} и удерживающих ΣF_{3r} сил определяются по формулам:

$$\Sigma F_{3a} = Q + E_a ; \qquad (II)$$

$$\Sigma F_{3r} = N f + A c_I + E_n , \qquad (I2)$$

где Q - составляющая нагрузки на фундамент, параллельная расчетной плоскости сдвига;

E_a и E_n - соответственно составляющие активного и пассивного давления грунта (на боковые грани фундамента), параллельные плоскости сдвига, кН, определяемые в соответствии с требованиями главы СНиП II-55-79„Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения";

N - сумма расчетных нагрузок, нормальных плоскости сдвига, кН;

f - коэффициент трения, определяемый по п.2.6 настоящих Рекомендаций;

A - площадь поверхности сдвига, м^2;

c_I - расчетное значение удельного сцепления грунта, кПа.

Примечание. Расчет на плоский сдвиг производится по двум возможным вариантам сдвига I и II (рис.I).

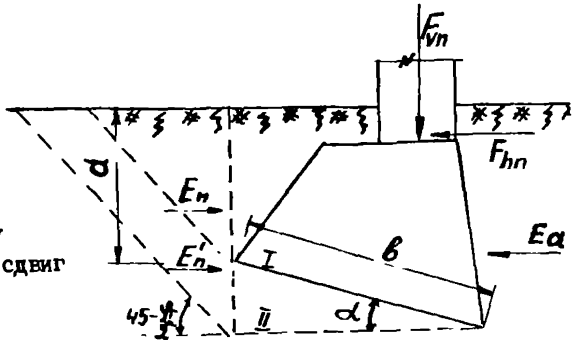


Рис.I. Схема к расчету фундамента на плоский сдвиг

Таблица I. Значения коэффициента N_γ

φ°	α° \ δ°	0	5	I0	I5	20	25	φ°	α° \ δ°	0	5	I0	I5	20	25
5	0	0,22	-	-	-	-	-	I0	0	0,63	0,38	-	-	-	-
	5	0,26	-	-	-	-	-		5	0,64	0,40	-	-	-	-
	I0	0,30	-	-	-	-	-		I0	0,67	0,45	-	-	-	-
	I5	0,34	-	-	-	-	-		I5	0,70	0,48	-	-	-	-
	20	0,38	-	-	-	-	-		20	0,72	0,5I	-	-	-	-
	25	0,4I	-	-	-	-	-		25	0,73	0,53	-	-	-	-
I5	0	I,38	0,95	0,52	-	-	-	20	0	2,86	2,08	I,36	0,73	-	-
	5	I,35	0,96	0,57	-	-	-		5	2,68	I,97	I,3I	0,72	-	-
	I0	I,33	0,96	0,59	-	-	-		I0	2,55	I,88	I,26	0,74	-	-
	I5	I,3I	0,95	0,6I	-	-	-		I5	2,40	I,75	I,22	0,74	-	-
	20	I,28	0,94	0,63	-	-	-		20	2,26	I,70	I,I9	0,75	-	-
	25	I,25	0,94	0,65	-	-	-		25	2,I5	I,80	I,I4	I,08	-	-

Продолжение табл.I

$\varphi,^\circ$	$\alpha,^\circ$ \ $\delta,^\circ$	0	5	I0	I5	20	25	$\varphi,^\circ$	$\alpha,^\circ$ \ $\delta,^\circ$	0	5	I0	I5	20	25
25	0	5,90	4,36	2,93	I,83	0,93	-	30	0	I2,38	9,0I	6,30	4,00	2,38	I,I5
	5	5,37	3,99	2,7I	I,70	0,90	-		5	I0,80	7,90	5,60	3,60	2,I5	I,
	I0	4,89	3,59	2,49	I,58	0,89	-		I0	9,39	6,96	4,96	3,26	I,96	I,
	I5	4,38	3,3I	2,32	I,49	0,86	-		I5	8,53	6,20	4,39	2,93	I,80	0,
	20	4,07	3,05	2,I4	I,43	0,85	-		20	7,56	5,55	3,90	2,62	I,66	0,
	25	3,66	2,78	2,0I	I,35	0,85	-		25	6,80	5,20	3,40	2,30	I,50	0,
35	0	27,	20,40	I3,96	9,I5	5,55	3,04								
	5	23,09	I6,96	II,76	7,36	4,83	2,67								
	I0	I9,II	I4,I7	9,95	6,58	4,I6	2,39								
	I5	I6,94	I2,25	8,66	5,79	3,66	2,I2								
	20	I4,I2	9,89	7,57	5,I3	3,I2	I,90								
	25	I2,I8	8,74	6,34	4,3I	2,82	I,68								

Таблица 2. Значения коэффициента N_C

$\varphi,^\circ$	$\alpha,^\circ$ \ $\delta,^\circ$	0	5	I0	I5	20	25	$\varphi,^\circ$	$\alpha,^\circ$ \ $\delta,^\circ$	0	5	I0	I5	20	25
5	0	6,64	-	-	-	-	-	I0	0	8,59	6,78	-	-	-	-
	5	6,30	-	-	-	-	-		5	8,I5	6,40	-	-	-	-
	I0	6,I0	-	-	-	-	-		I0	7,74	6,04	-	-	-	-
	I5	5,84	-	-	-	-	-		I5	7,33	5,69	-	-	-	-
	20	5,57	-	-	-	-	-		20	6,94	5,34	-	-	-	-
	25	5,32	-	-	-	-	-		25	6,55	5,05	-	-	-	-
I5	0	II,37	9,47	7,I6	-	-	-	20	0	I5,47	I3,08	I0,48	7,63	-	-
	5	I0,68	8,87	6,67	-	-	-		5	I4,40	I2,II	9,66	6,99	-	-
	I0	I0,02	8,29	6,I9	-	-	-		I0	I3,30	II,I9	8,90	6,39	-	-
	I5	9,39	7,74	5,74	-	-	-		I5	I2,3I	I0,34	8,I8	5,83	-	-
	20	8,79	7,22	5,30	-	-	-		20	II,39	9,53	7,5I	5,30	-	-
	25	8,22	6,72	4,89	-	-	-		25	I0,52	8,78	6,88	4,8I	-	-

Продолжение табл.2

φ°	α° \ δ°	0	5	I0	I5	20	25
25	0	2I,79	I8,44	I5,03	II,60	8,I3	-
	5	I9,92	I6,83	I3,69	I0,53	7,33	-
	I0	I8,I9	I5,35	I2,45	9,54	6,59	-
	I5	I6,60	I3,98	II,3I	8,63	5,9I	-
	20	I5,I4	I2,72	I0,26	7,78	5,28	-
	25	I3,79	II,56	9,27	7,0I	4,70	-
30	0	3I,98	26,9I	2I,97	I7,97	I2,85	8,65
	5	28,80	24,I0	I9,60	I5,50	II,50	7,65
	I0	25,83	2I,68	I7,65	I3,80	I0,I8	6,76
	I5	23,I8	I9,44	I5,79	I2,3I	9,04	5,95
	20	20,80	I7,4I	I4,II	I0,96	8,0I	5,25
	25	I8,50	I5,60	I2,40	9,70	7,20	4,75
35	0	49,45	4I,53	33,37	26,26	I9,87	I4,2I
	5	43,60	36,24	29,36	23,07	I7,42	I2,42
	I0	38,42	3I,9I	25,82	20,25	I5,25	I0,82
	I5	33,84	26,0[illegible]	22,69	I7,76	I3,33	9,4I
	20	29,78	24,63	I9,9I	I5,55	II,64	8,I7
	25	26,I9	2I,68	I7,46	I3,60	I0,I3	7,06

В случае I за величину A принимается площадь подошвы фундамента, в случае П – проекция площади подошвы фундамента на горизонтальную плоскость. Размеры фундамента определяются по менее благоприятному варианту расчета.

2.6. Коэффициент трения f в формуле (I2) определяется в зависимости от шероховатости подошвы. Для бетонных фундаментов с повышенной шероховатостью подошвы (имеющей неровности не менее 2см)

$$f = tg\,\varphi_I. \qquad (I3)$$

Для гладкой подошвы фундамента коэффициент трения f принимается по табл.3 в зависимости от вида грунта основания или подготовки.

Таблица 3. Коэффициенты трения

Вид грунта основания или подготовки	Коэффициент трения f
Бетон или цементная стяжка	0,70
Песок маловлажный	0,55
Песок влажный и водонасыщенный	0,45
Супесь $I_L < 0,25$	0,50
Супесь $0,25 \leq I_L$	0,30
Суглинок $I_L < 0,25$	0,40
Суглинок $0,25 \leq I_L$	0,20
Глина $I_L < 0,25$	0,30
Глина $0,25 \leq I_L$	0,I5

2.7. При разработке индивидуальных или типовых проектов сборных фундаментов с наклонной подошвой следует обуславливать устройство подошвы с повышенной шероховатостью.

Ш. РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ ПО ВТОРОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ (ПО ДЕФОРМАЦИЯМ)

3.I. Расчет оснований по деформациям производится с учетом совместной работы здания и основания. Для зданий и сооружений Ш класса допускается производить расчет деформаций оснований без учета перераспределения нагрузок от надфундаментной конструкции.

3.2. Расчет оснований по деформациям производится исходя из

условия

$$S \leq S_u, \qquad (14)$$

где S – совместная деформация основания и сооружения, определяемая расчетом;

S_u – предельное значение совместной деформации основания и сооружения, устанавливаемое по п.3.5 настоящих Рекомендаций.

Примечание. Под величинами S и S_u могут пониматься: 1) абсолютная вертикальная осадка основания отдельного фундамента; 2) горизонтальное перемещение фундамента; 3) средняя осадка основания сооружения; 4) относительная неравномерность осадок двух фундаментов.

3.3. Выбор расчетной схемы основания и расчет деформаций основания следует производить по п.3.49 и прил.3 главы СНиП II-15-74; при этом среднее нормальное давление к подошве фундамента не должно превышать расчетного сопротивления грунта основания R, определяемого по п.3.4 настоящих Рекомендаций.

Примечания: 1. Вертикальные перемещения фундамента с наклонной подошвой определяются для условного фундамента, подошва которого совпадает с проекцией подошвы наклонного фундамента на горизонтальную плоскость. 2. Горизонтальные перемещения фундамента определяются по п.3.7 настоящих Рекомендаций.

3.4. Расчетное сопротивление грунта основания R определяется по формуле

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k}\left(M_\gamma b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma_{II}' + M_c c_{II}\right), \qquad (15)$$

где γ_{c1} и γ_{c2} – коэффициенты условий работы, принимаемые по табл.4;

k – коэффициент, принимаемый равным 1, если прочностные характеристики грунта c и φ определены по данным испытаний, и 1,1, если c и φ приняты по справочным таблицам СНиП II-15-74 или региональным таблицам, утвержденным в установленном порядке;

M_γ, M_q и M_c – коэффициенты, принимаемые по табл.5;

b – меньшая сторона подошвы фундамента, м;

γ_{II} – осредненное расчетное значение удельного веса грунта, залегающего ниже подошвы фундаментов на

глубину, равную 0,5 b (при наличии подземных вод определяется с учетом взвешивающего действия воды), кН/м^3;

γ_{II}' – то же, залегающего выше подошвы;

c_{II} – осредненное расчетное значение удельного сцепления грунта, залегающего непосредственно под подошвой фундамента на глубину, равную 0,5 b , кПа;

d_1 – средняя глубина заложения фундамента от уровня планировки, м;

Примечания: I. При определении коэффициентов M_γ, M_q и M_c по табл.5 под φ_{II} понимаются осредненные расчетные значения угла внутреннего трения грунта, залегающего непосредственно под подошвой фундамента на глубину, равную 0,5 b ; 2. Краевое давление на грунт у края подошвы внецентренно нагруженного фундамента должно не превышать I,2 R .

3.5. Предельные значения совместной деформации основания и сооружения устанавливаются расчетом с учетом взаимодействия основания и сооружения. Если конструкции сооружения не рассчитаны на усилия от неравномерных деформаций основания и в задание на проектирование не устанавливаются предельные значения деформаций по технологическим, архитектурным и пр. требованиям, предельные значения деформаций оснований допускается принимать по табл.I8 главы СНиП П-I5-74.

3.6. Расчет деформаций основания допускается не выполнять, если среднее нормальное давление к подошве проектируемого фундамента сооружения не превышает расчетного сопротивления основания R и грунтовые условия площадки удовлетворяют требованиям п.3.70 главы СНиП П-I5-74.

3.7. Горизонтальные перемещения фундамента определяются по формуле [4]

$$S_h = \Phi \frac{Q}{2eE} \quad , \qquad (I6)$$

где Q – горизонтальная составляющая нагрузки на фундамент;

e – длина фундамента;

E – модуль деформации грунта;

$$\Phi = I,68 - 0,64\mu - I,23\mu^2 \quad , \qquad (I7)$$

здесь μ – коэффициент Пуассона грунта.

Таблица 4. Коэффициенты условий работы

Наименование грунтов	Коэффициент γ_{c1}	Коэффициент γ_{c2} для сооружений с жесткой конструктивной схемой при отношении длины сооружения или его отсека к его высоте L/H, равном	
		4 и более	1,5 и менее
Крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем и песчаные грунты, кроме мелких и пылеватых	1,4	1,2	1,4
Пески мелкие	1,3	1,1	1,3
Пески пылеватые:			
маловлажные и влажные..	1,25	1,0	1,2
насыщенные водой	1,1	1,0	1,2
Крупнообломочные грунты с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватые и глинистые грунты с показателем текучести $I_L \leq 0,25$	1,25	1,0	1,1
То же, при $0,25 < I_L \leq 0,5$..	1,2	1,0	1,1
То же, при $I_L > 0,5$.....	1,1	1,0	1,0

Примечания: 1. К сооружениям с жесткой конструктивной схемой относятся сооружения, конструкции которых специально приспособлены к восприятию усилий от деформаций оснований путем применения мероприятий, указанных в п.3.88 главы СНиП II-15-74; 2. Для зданий с гибкой конструктивной схемой значение коэффициента γ_{c2} принимается равным единице; 3. При промежуточных значениях L/H коэффициент γ_{c2} определяется интерполяцией.

Таблица 5. Коэффициенты M_γ, M_q, M_c

Угол внутреннего трения φ_{II}, °	Коэффициенты			Угол внутреннего трения φ_{II}, °	Коэффициенты		
	M_γ	M_q	M_c		M_γ	M_q	M_c
0	0	I,0	3,I4	24	0,72	3,87	6,45
I	0,0I	I,06	3,23	25	0,78	4,II	6,67
2	0,03	I,I2	3,32	26	0,84	4,37	6,90
3	0,04	I,I8	3,4I	27	0,9I	4,64	7,I4
4	0,06	I,25	3,5I	28	0,98	4,93	7,40
5	0,08	I,32	3,6I	29	I,06	5,25	7,67
6	0,I0	I,39	3,7I	30	I,I5	5,59	7,95
7	0,I2	I,47	3,82	3I	I,24	5,95	8,24
8	0,I4	I,55	3,93	32	I,34	6,34	8,55
9	0,I6	I,64	4,05	33	I,44	6,76	8,88
I0	0,I8	I,73	4,I7	34	I,55	7,22	9,22
II	0,2I	I,83	4,29	35	I,68	7,7I	9,58
I2	0,23	I,94	4,42	36	I,8I	8,24	9,97
I3	0,26	2,05	4,55	37	I,95	8,8I	I0,37
I4	0,29	2,I7	4,69	38	2,II	9,44	I0,80
I5	0,32	2,30	4,84	39	2,28	I0,II	II,25
I6	0,36	2,43	4,99	40	2,46	I0,85	II,73
I7	0,39	2,57	5,I5	4I	2,66	II,64	I2,24
I8	0,43	2,73	5,3I	42	2,88	I2,5I	I2,79
I9	0,47	2,89	5,48	43	3,I2	I3,46	I3,37
20	0,5I	3,06	5,66	44	3,38	I4,50	I3,98
2I	0,56	3,24	5,84	45	3,66	I5,64	I4,64
22	0,6I	3,44	6,04				
23	0,69	3,65	6,24				

IУ. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I. Исходные данные. Основание здания П класса с каркасом из трехшарнирных рам – однородное, сложенное мелкими песками средней плотности. Уровень подземных вод находится на глубине 4 м от дневной поверхности. Физико-механические характеристики грунта основания приняты по табл.I прил.2 главы СНиП П-I5-74: φ_n = 34°; C_n = 3 кПа; E = 33 МПа; e = 0,6; ρ_n = I,8 т/м³.

Вертикальная составляющая нормативной нагрузки на фундамент F_{vn} = 250 кН, горизонтальная составляющая F_{hn} = I75 кН. Конструкция фундамента обеспечивает свободные его перемещения и поворот. Требуется определить размеры подошвы фундамента из расчета по первому и второму предельным состояниям.

Размеры подошвы фундамента b x ℓ = I,5 x 0,9 м, его высота h = I,3 м, наклон подошвы α = 20°. Минимальное заглубление подошвы d от планировочной отметки равно 0,8 м. Плотность подсыпки ρ_n составляет I,6 т/м³, а ее высота 0,4 м. Схема фундамента и действующие нагрузки представлены на рис.2.

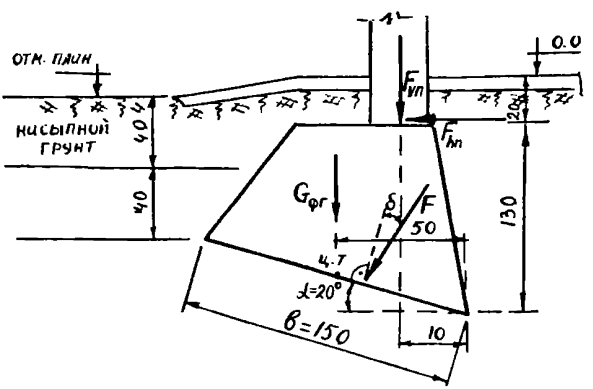


Рис. 2. Расчетная схема к примеру I

I. Расчет по первому предельному состоянию

Расчетные характеристики основания в соответствии с [1] следующие:

$$\varphi_I = \frac{\varphi_n}{\gamma_g} = \frac{34}{I,I} = 3I^{\circ};$$

$$C_I = \frac{C_n}{\gamma_g} = \frac{3,0}{1,5} = 2 \text{ кПа};$$

Расчетная плотность грунта принимается равной нормативной:

$$\rho_I = \rho_n = 1,8 \text{ т/м}^3; \quad \gamma_I = g\rho_I = 10 \times 1,8 = 18 \text{ кН/м}^3.$$

Средневзвешенное расчетное значение удельного веса грунта выше подошвы:

$$\gamma_I' = \frac{g\sum \rho_i h_i}{\sum h_i} = \frac{10(1,6x0,4 + 1,8x0,4)}{0,4 + 0,4} = 17 \text{ кН/м}^3.$$

Определим расчетные значения нагрузок, учитывая осредненный коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,15$:

$$F_V = F_{Vn} \cdot \gamma_f = 250 \times 1,15 = 288 \text{ кН},$$

$$F_h = F_{hn} \cdot \gamma_f = 175 \times 1,15 = 202 \text{ кН}.$$

Вес фундамента и грунта на его обрезах (см.рис.2) $G_{\varphi r}$ определим при средней плотности материала фундамента и грунта $\rho = 2$ т/м^3 и при коэффициенте надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,2$:

$$G_{\varphi r} = V_{\varphi r} \cdot \gamma \cdot \gamma_f = 1,5x0,9 \frac{1,3+0,8}{2} x10x2x1,2 = 34 \text{ кН}.$$

Равнодействующая вертикальных нагрузок на основание

$$F_{Vd} = F_V + G_{\varphi r} = 288 + 34 = 322 \text{ кН}.$$

Равнодействующая всех нагрузок на основание

$$F = \sqrt{F_{Vd}^2 + F_h^2} = \sqrt{322^2 + 202^2} = 390 \text{ кН}.$$

Угол наклона равнодействующей F к вертикали

$$\theta = arctg \frac{F_h}{F_{Vd}} = arctg \frac{202}{322} = 32^0.$$

Угол между направлением равнодействующей и нормалью к подошве

$$\delta = \theta - \alpha = 32^0 - 20^0 = 12^0.$$

Определим эксцентриситет приложения равнодействующей F по отношению к центру тяжести подошвы фундамента (см.рис.2)

$$e_I = \frac{\sum M_o}{F} = \frac{F_V(\frac{b}{2}\cos\alpha - 0,1) + G_{\varphi r}(\frac{b}{2}\cos\alpha - 0,5) - F_h(h - \frac{b}{2}\sin\alpha)}{F} =$$

$$= \frac{288(\frac{1,5}{2}\cos 20^0 - 0,1) + 34(\frac{1,5}{2}\cos 20^0 - 0,5) - 202(1,3 - \frac{1,5}{2}\sin 20^0)}{390} = -0,07 \text{ м}.$$

Находим приведенную ширину подошвы

$$b' = b - 2|e| = 1{,}5 - 2 \times 0{,}074 = 1{,}35 \text{ м}.$$

Определим коэффициенты несущей способности N_γ и N_c по табл.1 и 2 соответственно при $\varphi_I = 31^0$; $\delta = 12^0$ и $\alpha = 20^0$, пользуясь линейной интерполяцией, или по номограммам (рис.4 и 5):

$N_\gamma = 4$; $N_c = 14$;

$$N_q = N_c \cdot tg\varphi_I + 1 = 14 \cdot tg\ 31^0 + 1 = 9{,}45.$$

Вычислим коэффициенты формы подошвы при

$$\eta = \frac{l}{b'} = \frac{0{,}9}{1{,}35} = 0{,}67;$$

$$\xi_\gamma = 1 - 0{,}25 \times 0{,}67 = 0{,}83;$$

$$\xi_q = 1 + 1{,}5 \times 0{,}67 = 2{,}0;$$

$$\xi_c = 1 + 0{,}3 \times 0{,}67 = 1{,}2.$$

Тогда нормальная к подошве фундамента сила предельного сопротивления составит

$$N_u = b'l\,(N_\gamma \xi_\gamma b' \gamma_I + N_q \xi_q \gamma_I' d + N_c \xi_c c_I) =$$

$$= 1{,}35 \times 0{,}9\,(4 \times 0{,}83 \times 1{,}35 \times 1{,}8 + 9{,}45 \times 2 \times 17 \times 0{,}8 + 14 \times 1{,}2 \times 2) =$$

$$= 450 \text{ кН}.$$

Проверим выполнение условия (I), принимая $\gamma_c = 1$; $\gamma_n = 0{,}8$. (Проверку производим для нормальной к подошве составляющей нагрузки)

$$F\cos\delta \le \frac{\gamma_c N_u}{\gamma_n};$$

$$390 \times \cos 12^0 \le \frac{1 \times 450}{0{,}8}; \quad 375 < 560,$$

т.е. условие (I) выполняется.

2. Расчет по второму предельному состоянию

Расчетные характеристики грунта в соответствии с [1] определим при коэффициенте надежности по грунту $\gamma_g = 1$, т.е.: $\varphi_{II} = 34^0$; $C_{II} = 3$ кПа; $\gamma_{II} = 18$ кН/м^3; $\gamma_{II}' = 17$ кН/м^3. Расчетные нагрузки на основание равны нормативным. Определим расчетное

сопротивление основания R по формуле (I5).

M_γ = I,55; M_q = 7,2I; M_c = 9,2I (см.табл.5);

γ_{c1} = I,3; γ_{c2} = I (см.табл.4);

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k}\left(M_\gamma b \gamma_{II} + M_q d_1' \gamma_{II}' + M_c C_{II}\right) =$$

$$= \frac{I,3xI}{I,I}\left(I,55x0,9xI8 + 7,2Ix\frac{I,5+0,8}{2} x\ I7 + 9,2Ix3\right) =$$

$$= 228 \text{ кПа}.$$

Находим фактическое давление P под подошвой фундамента.

Равнодействующая вертикальных нагрузок на основание

$$F_{vd} = F_v + G_{фг} = 250 + \frac{34}{I,2} = 278,4 \text{ кН}.$$

Равнодействующая всех нагрузок на основание

$$F = \sqrt{F_{vd}^2 + F_h^2} = \sqrt{278,4^2 + I75^2} = 328 \text{ кН}.$$

Среднее нормальное к подошве давление

$$P = \frac{F_{vd}\cos\alpha + F_h \sin\alpha}{b \cdot e} = \frac{278,4 \text{ x } \cos 20^0 + I75\text{x } \sin 20^0}{I,5 \text{ x } 0,9} =$$

$$= \frac{32I}{I,5x0,9} = 238 \text{ кПа} > R = 228 \text{ кПа}.$$

Таким образом, приходится увеличить площадь подошвы фундамента, принимая e = I м.

Проверим P :

$$P = \frac{32I}{I,5xI,0} = 224 \text{ кПа} < R = 228 \text{ кПа}.$$

Проверим краевые давления, предварительно определив эксцентриситет приложения равнодействующей F:

$$e_{II} = \frac{F_{vd}\left(\frac{b}{2}\cos\alpha - 0,1\right) + G_{фг}\left(\frac{b}{2}\cos\alpha - 0,5\right) - F_h\left(h - \frac{b}{2}\sin\alpha\right)}{F} =$$

$$= \frac{250\left(\frac{1,5}{2}\cos 20^\circ - 0,1\right) + \frac{34}{1,2}\left(\frac{1,5}{2}\cos 20^\circ - 0,5\right) - (1,3 - \frac{1,5}{2}\sin 20^\circ)}{328} = 0,076$$

Максимальное краевое давление под подошвой

$$P_{max} = P \cdot \left(I + \frac{6e}{b}\right) = 224\left(I + \frac{6x0,076}{I,5}\right) = 293 \text{ кПа};$$

$$P_{max} = 293 \text{ кПа} > 1{,}2R = 274 \text{ кПа},$$

т.е. следует увеличить размеры подошвы.

Для уменьшения эксцентриситета примем $b = 1{,}6$ м, причем, это увеличение производим только в сторону наиболее заглубленной грани фундамента, что приводит к уменьшению эксцентриситета на 0,05 м. Проверим краевое давление (не пересчитывая нагрузки и расчетные сопротивления).

$$P_{max} = \frac{321}{1{,}6 \times 1{,}0}\left(1 + \frac{6 \times 0{,}026}{1{,}6}\right) = 220 \text{ кПа} < 1{,}2R = 274 \text{ кПа}.$$

Таким образом, окончательно принимаем фундамент с размерами подошвы 1,6 х 1,0. Можно было бы не изменяя b, уменьшить эксцентриситет, принимая подошвы фундамента в форме трапеции.

Пример 2. Исходные данные. Ленточный фундамент арочного склада из железобетонных оболочек имеет размеры: $b = 1{,}4$ м; $h = 0{,}6$ м; угол наклона подошвы к горизонту $\alpha = 15^0$; минимальная глубина заложения фундамента d от планировочной отметки равна 1 м (рис.3). (Размеры фундамента определены из расчета по второму предельному состоянию.) Подошва фундамента шероховатая.

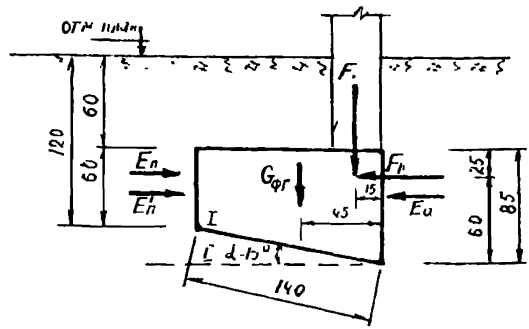


Рис.3. Расчетная схема к примеру 2

Вертикальная и горизонтальная составляющие расчетных внешних нагрузок на фундамент равны соответственно $F_v = 100$ кН/м; $F_h = 100$ кН/м. Расчетный вес фундамента и грунта на его обрезах $G_{фг} = 20$ кН/м. Здание II класса. Основание однородно по глубине и сложено суглинками с характеристиками $C_I = 20$ кПа; $\varphi_I = 20^0$; $\gamma_I = 18$ кН/м^3.

Требуется проверить размеры фундамента расчетом основания по первому предельному состоянию. Определим равнодействующую вертикальных нагрузок на основание

$$F_{V\alpha} = F_V + G_{\varphi\Gamma} = 100 + 20 = 120 \text{ кН/м}.$$

Угол наклона равнодействующей к вертикали

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{F_h}{F_{V\alpha}} = \operatorname{arctg} \frac{100}{120}; \quad \theta = 40^0.$$

Угол между направлением равнодействующей и нормалью к подошве

$$\delta = \theta - \alpha = 40^0 - 15^0 = 25^0.$$

Так как условие (9) не выполняется и формула (4) не может быть использована, производим расчет фундамента на плоский сдвиг по формуле (10).

Предварительно определим равнодействующие активного E_a и пассивного $E_п$ и $E'_п$ давлений для двух возможных вариантов сдвига I и II (см.рис.3) в соответствии с [2].

Горизонтальная σ_{ar} составляющая интенсивности активного давления на глубине z составит

$$\sigma_{ar} = \gamma_I z \lambda_{ar} + \frac{C_I}{tg \varphi_I} (\lambda_{ar} - 1),$$

где λ_{ar} – коэффициент активного давления грунта, определяемый по формуле

$$\lambda_{ar} = \frac{\cos \varphi_I}{1 + \sqrt{3 \sin 2\varphi_I}} = \frac{\cos 20^\circ}{1 + \sqrt{3 \sin (2 \cdot 20^\circ)}} = 0{,}52;$$

$$\sigma_{ar(z=1{,}45)} = 18 \times 1{,}45 \times 0{,}52 + \frac{10}{tg\, 20^0} (0{,}52 - 1) = 0.$$

Расчетное значение удельного сцепления засыпки $C_{I\,зас.} = 0{,}5\, C_I$.

$$E_{ar} = 0.$$

Горизонтальная составляющая пассивного давления грунта $\sigma_{пг}$ на глубине z определяется по формуле

$$\sigma_{пг} = \gamma_I z \lambda_{пг} + \frac{C_I}{tg \varphi_I} (\lambda_{пг} - 1),$$

где $\lambda_{пг}$ – коэффициент пассивного давления грунта, определяемый по табл. прил.3 [2].

Определим $\sigma_{пг}$ на уровне планировки ($\lambda_{пг} = 2{,}86$):

$$\sigma_{пг(z=1{,}2)} = 18 \times 0 \times 2{,}86 + \frac{10}{tg\, 20^0} (2{,}86 - 1) = 51 \text{ кПа}.$$

Находим $\sigma_{пг}$ на глубине I,2 м:

$$\sigma_{пг(z=1,2)} = 18 \times 1,2 \times 2,86 + \frac{10}{tg\,20^0}\,(2,86 - 1) = 113 \text{ кПа}.$$

Определим $\sigma_{пг}$ на глубине I,45 м:

$$\sigma_{пг(z=1,45)} = 18 \times 1,45 \times 2,86 + \frac{10}{tg\,20^0}\,(2,86 - 1) = 125 \text{ кПа}.$$

Тогда гориэонтальные составляющие равнодействующих пассивного давления грунта для I и II схем сдвига равны:

$$E_п = \frac{\sigma_{пг(z=0)} + \sigma_{пг(z=1,2)}}{2} \times 1,2 = \frac{51 + 113}{2} \times 1,2 = 74 \text{ кН/м};$$

$$E_п' = \frac{\sigma_{пг(z=0)} + \sigma_{пг(z=1,45)}}{2} \times 1,45 = \frac{51 + 125}{2} \times 1,45 = 128 \text{ кН/м}.$$

Производим расчет по формуле (10), принимая $\gamma_c = 0,9$; $\gamma_n = 1,15$ и проектируя расчетные силы на плоскость скольжения I:

$$F_h \cos\alpha - F_{v\alpha} \sin\alpha \le \frac{\gamma_c [(F_{v\alpha} \cos\alpha + F_h \sin\alpha) tg\,\varphi_I + \beta c_I + E_п \cos\alpha]}{\gamma_n},$$

$$100 \times \cos 15^0 - 120 \times \sin 15^0 \le \frac{0,9[(120 \times \cos 15^0 + 100 \times \sin 15^0) tg\,20^0 +}{1,15}$$

$$\frac{+ 1,4 \times 20 + 74 \times \cos 15^0]}{1,15} = 65,6 \text{ кН/м} < 108 \text{ кН/м}.$$

Таким образом, расчет основания на плоский сдвиг по поверхности I показывает, что условие (10) удовлетворяется с большим запасом, поэтому расчет по поверхности II можно не производить (см.рис.I).

Список литературы

I. СНиП II-15-74. Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования. М., Стройиздат, 1975.

2. СНиП II-55-79. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Нормы проектирования. М., Стройиздат, 1980.

3. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1978.

4. СНиП II-16-76. Основания гидротехнических сооружений. Нормы проектирования. М., Стройиздат, 1977.

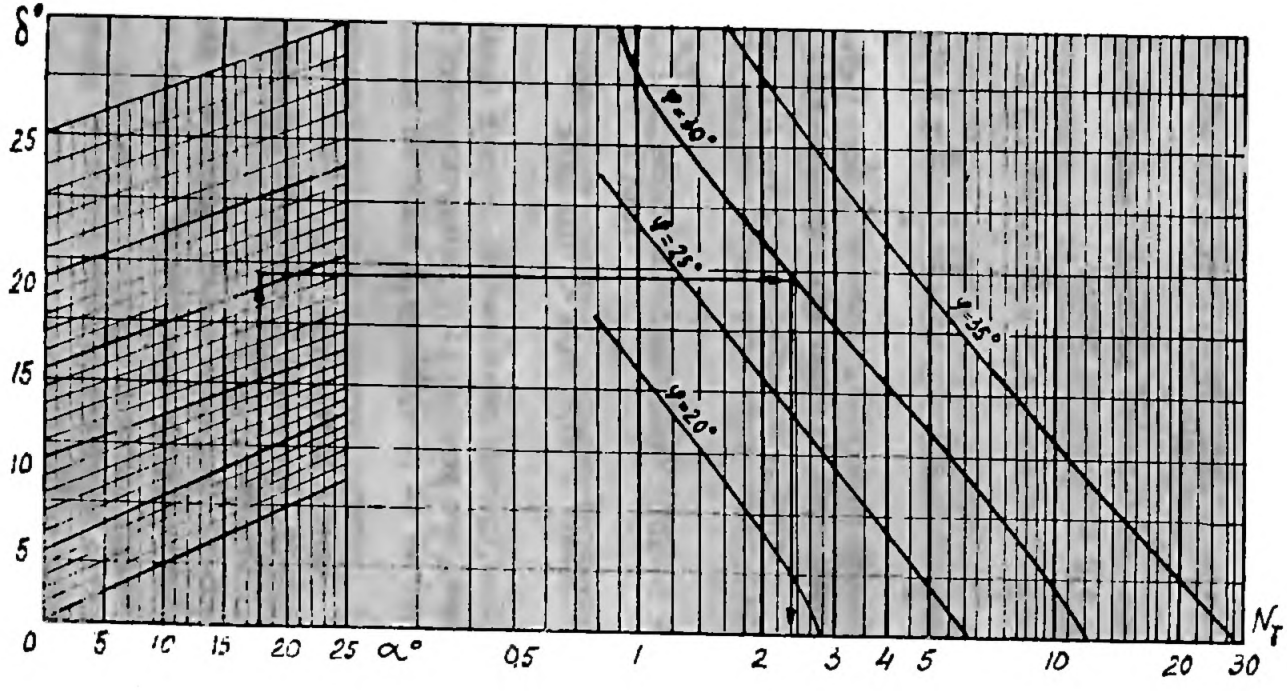


Рис. 4. Номограмма для определения коэффициента N_γ

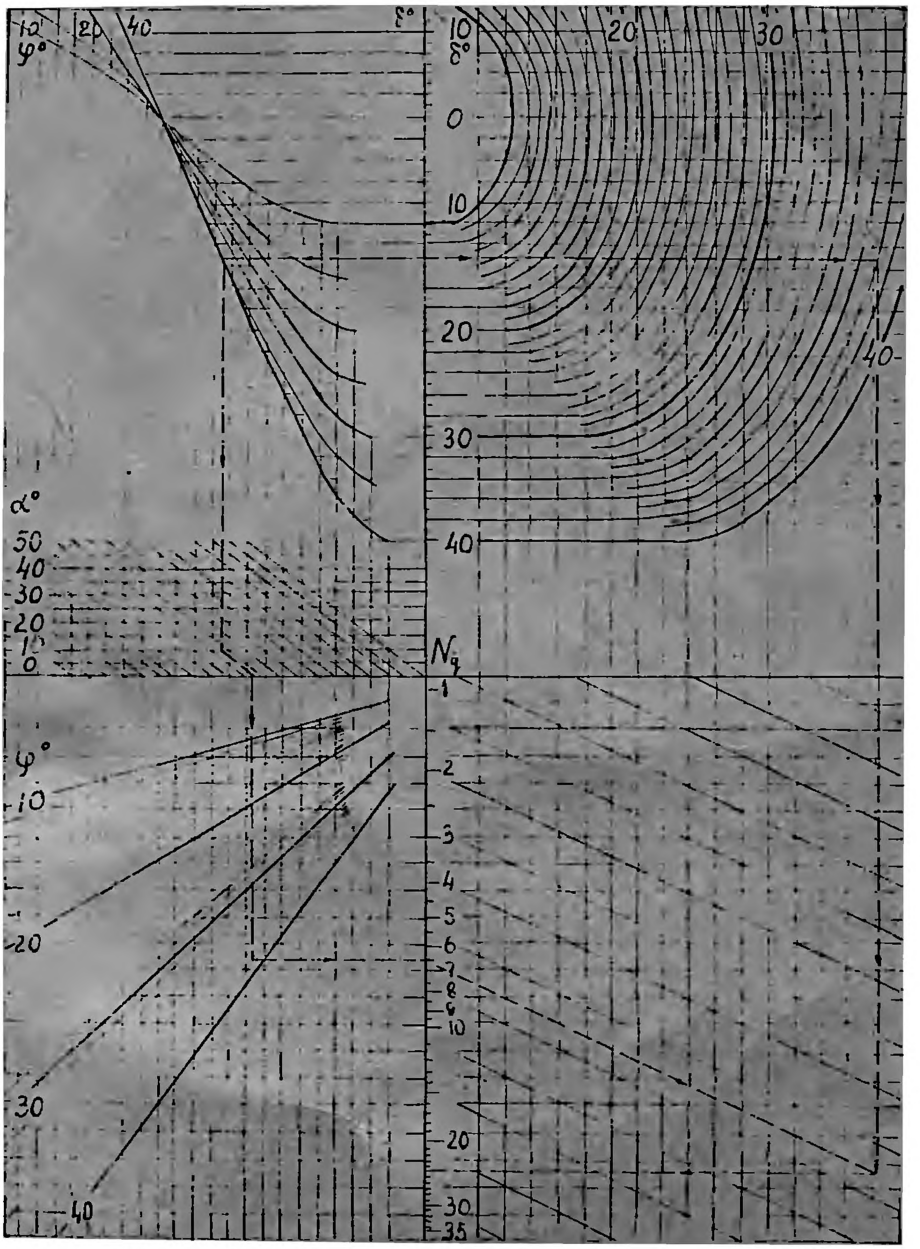


Рис. 5. Номограмма для определения коэффициента N_φ

gost.e-ecolog.ru