Министерство заготовок СССР

Р Е К О М Е Н Д А Ц И И

по оценке устойчивости оснований элеваторных сооружений



Москва 1985

gost.e-ecolog.ru

Настоящие рекомендации по оценке устойчивости оснований элеваторных сооружений разработаны в лаборатории расчета и испытаний сооружений института ЦНИИПромзернопроект заведующим лабораторией к.т.н. Е.З.Болтянским.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. Общая часть. 4

2. Расчет оснований на устойчивость 5

3. Указания по проектированию и эксплуатации элеваторных сооружений с учетом факторов, влияющих на устойчивость основания. 19

Приложение

Пример расчета устойчивости основания силосного корпуса элеватора 27

Разработаны Центральным ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательским и проектным институтом "ЦНИИпромзернопроект"

Утверждены Главпромзернопроектом Минзага СССР 24.10.84

Срок введения 01.04.85

Р Е К О М Е Н Д А Ц И И

по оценке устойчивости оснований элеваторных сооружений

П Р Е Д И С Л О В И Е

Настоящие рекомендации разработаны в лаборатории расчета и испытаний сооружений института ЦНИИпромзернопроект по результатам научно-исследовательской работы по теме I.312 "Исследования статической работы элеваторных сооружений в целях предупреждения неравномерных осадок, повышенных кренов и их выправления в различных грунтовых условиях", этапа II "Разработать рекомендации по оценке устойчивости оснований элеваторных сооружений при неравномерных осадках". В исследованиях по указанному этапу участвовали зав. лабораторией к.т.н. Е.З.Болтянский, мл. научный сотрудник Е.А.Козлова и ст. научный сотрудник П.А.Перлов.

Рекомендации предназначены для инженерно-технических и научных работников проектных и научно-исследовательских институтов, разрабатывающих проекты элеваторных сооружений и других аналогичных зданий.

I. ОБЩАЯ ЧАСТЬ.

I.I. Рекомендации предназначены для оценки устойчивости оснований проектируемых, строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений предприятий по хранению и переработке зерна и других аналогичных зданий и сооружений.

I.2. Оценка устойчивости основана на методе круглоцилиндрических поверхностей скольжения и применима для сооружений на сплошных плитных фундаментах, расположенных на естественном основании.

I.3. Область применения настоящих рекомендаций ограничена величиной среднего расчетного давления на грунт основания равной 350 кн/м^2 при условии, что максимальное краевое давление превосходит среднее не более, чем на 20%. Указанные давления соответствуют силосным корпусам зерновых элеваторов с высотой силосной части до 30 м, а также любым другим зданиям и сооружениям на плитных фундаментах, расчетные давления по которым не превосходят указанных величин.

I.4. Данные настоящих рекомендаций позволяют определить коэффициент устойчивости оснований элеваторных сооружений в зависимости от физико-механических характеристик грунтов, размеров сооружения, глубины заложения подошвы, наличия крена, величины и характера приложения нагрузки и т.д.

I.5. Рекомендации содержат необходимые сведения о глубине и местах расположения инженерно-геологических выработок, осуществляемых во время изысканий, позволяющие получить наиболее полную информацию для выполнения расчетов оснований на устойчивость.

2. РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

2.I. Расчет на устойчивость оснований относится к расчетам по несущей способности. Целью такого расчета по несущей способности является обеспечение устойчивости нескального основания.

2.2. Все нагрузки, учитываемые в расчетах оснований на устойчивость, принимаются с коэффициентами перегрузки для I-ой группы предельных состояний.

2.3. Расчет оснований по несущей способности допускается выполнять графоаналитическим методом способом круглоцилиндрических

поверхностей скольжения. Численная оценка устойчивости производится путем отыскания отношения моментов сил, препятствующих сдвигу грунта основания по поверхности скольжения, к моменту сдвигающих сил.

2.4. Несущая способность основания считается обеспеченной, если расчетный коэффициент устойчивости $k \geq 1{,}2$, при этом величина k определяется по формуле:

$$k = \frac{\Sigma M_{уд.}}{\Sigma M_{сдв.}}, \qquad (1)$$

где:

$\Sigma M_{уд.}$ - сумма моментов удерживающих сил (препятствующих сдвигу по поверхности скольжения);

$\Sigma M_{сдв.}$ - сумма моментов сдвигающих сил.

2.5. Расчетным коэффициентом устойчивости считается минимальный из всех возможных коэффициентов, значению которого соответствует наиболее опасная поверхность скольжения, объемлющая сдвигаемую часть грунта основания. Положение центра и радиуса круглоцилиндрической поверхности скольжения заранее неизвестны и определяются способом попыток.

2.6. В соответствии с расчетной схемой метода круглоцилиндрических поверхностей скольжения (рис. I) для каждого возможного центра (т.С.) через угловую точку нижней плоскости фундамента (т.О.) проводят цилиндрическую поверхность и определяют соответствующий коэффициент устойчивости. Искомым центром будет тот, при котором $k = k_{min}$.

2.7. При расчете следует учитывать, что система сооружение - грунт находится под воздействием собственного веса сооружения G и известной зерновой нагрузки P. При этом точки приложения равнодействующих этих нагрузок (x_G, y_G и x_P, y_P) определяются заранее. Из всех видов зерновой загрузки допускается учитывать только полную и частичную одностороннюю загрузку корпуса на $\frac{2}{3}$ его ширины.

Расчетная схема устойчивости основания метода круглоцилиндрических поверхностей скольжения

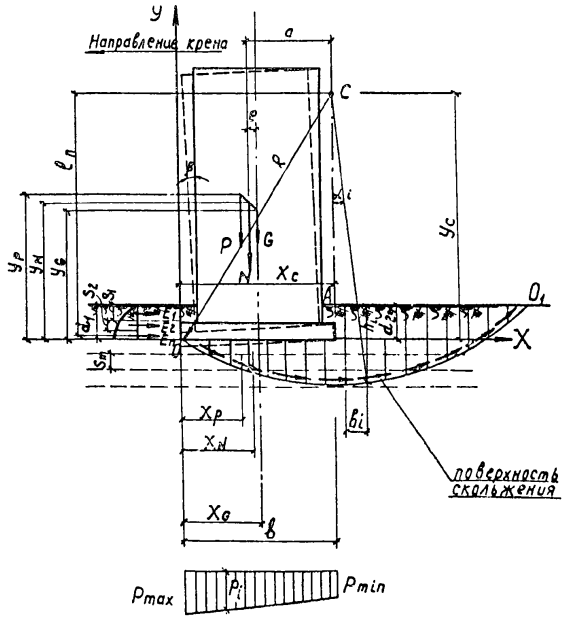

Рис. 1

2.8. В расчете учитываются величины заглубления подошвы фундамента, которые могут быть разными по обе стороны от сооружения.

В соответствии с направлением сдвига, показанного на расчетной схеме, в пределах высоты заглубления d_1 может быть учтено активное бытовое давление грунта.

2.9. При расчете вся толща грунта, начиная от поверхности планировочной отметки разбивается на произвольное число горизонтальных слоев "m" произвольной высоты S_m. Разбивку на слои следует производить так, чтобы отразить послойные изменения физико-механических характеристик грунтов основания. Для удобства выполнения расчетов границу одного из слоев рекомендуется расположить на уровне подошвы фундамента. Нумерацию слоев следует начинать сверху.

2.10. Сдвигаемый массив грунта, ограниченных плоскостью АО и круглоцилиндрической поверхностью OO_I, разбивается на произвольное число полос вертикальными сечениями. Разбивка на полосы должна учитывать неоднородность основания в пределах сдвигаемого массива грунта. Число полос не должно быть малым, так как их уменьшение снижает точность расчета. С достаточной для практических целей точностью число вертикальных полос в пределах ширины фундамента может назначаться равным 8-12.

2.11. В результате разбивки массива грунта на горизонтальные слои и вертикальные полосы образуются элементы, внутри которых физико-механические характеристики грунтов основания считаются постоянными.

2.12. Каждый получивший i-й элемент характеризуется шириной и ее средней высотой h_i, определенной геометрически. Точка пересечения высоты полосы h_i с поверхностью скольжения определяется радиусом этой поверхности (нормальной к i-ой площадке скольжения) и вертикалью, проведенной через точку С, то есть углом α_i.

2.I3. В расчетах используются следующие физико-механические характеристики грунтов основания:

γ_i - среднее расчетное значение удельного веса грунта в пределах i-ой полосы, включающей m слоев;

φ_i - расчетное значение угла внутреннего трения грунта по площадке скольжения в пределах рассматриваемой полосы;

C_i - расчетное значение удельного сцепления в пределах i-ой полосы;

2.I4. Давление на основание под подошвой фундамента от действия расчетных нагрузок допускается определять из условия его распределения по закону плоскости. При неравномерной внешней нагрузке, передающейся от сооружения, средние ординаты эпюры давлений на грунт (P_i) определяются для каждой i-ой полосы по формуле внецентренного сжатия.

2.I5. В пределах ширины фундамента давление, вызванное нагрузкой от сооружения, суммируется с весом массива грунта, находящегося выше поверхности скольжения. За пределами фундамента вес массива грунта для каждой i-ой полосы учитывается аналогично, при этом давление от веса сооружения не учитывается. Учет взвешивающего действия грунтовой воды следует производить только для песчаных грунтов, находящихся в водонасыщенном состоянии.

2.I6. При расчете устойчивости рекомендуется учитывать дополнительное сдвигающее усилие, вызванное креном сооружения.

2.I7. Координаты точки С, соответствующей расчетной круглоцилиндрической поверхности скольжения, определяются путем последовательного перебора в области ее возможного расположения. При выполнении расчетов при помощи ЭВМ может применяться грубая оценка границ этой области, а именно:

I) Точка С находится выше отметки поверхности основания со стороны предполагаемого выпора грунта, то есть выше плоскости, определяемой прямой AO_I (рис. I).

2) Точка С занимает такое положение, при котором точка O_I поверхности скольжения оказывается за пределами подошвы плиты.

2.18. В соответствии с принятыми в расчетной схеме положением т. О, направлением осей X и У и направляем сдвига указанные в п. 2.17 ограничения выражаются формулами:

$$\left.\begin{aligned} y_c &> d_2 \\ x_c &> \frac{b}{2} \end{aligned}\right\}, \qquad (2)$$

где

x_c, y_c - координаты точки С;

b - ширина фундамента;

d_2 - заглубление подошвы фундамента со стороны предполагаемого выпора грунта.

2.19. Для ориентировочных расчетов, выполняемых вручную, применяется более точная оценка границ области расположения точки С в соответствии с разделом 3 настоящих "Рекомендаций".

2.20. Все расчеты допускается производить для полосы единичной ширины, выделенной из системы "сооружение-основание" двумя параллельными вертикальными сечениями.

2.21. Величины суммарных моментов, входящих в формулу (1) п. 2.4, определяются относительно точки С по формулам:

$$\Sigma M_{cgb.} = M_{1\,cgb.} + M_{2\,cgb.} + M_{3\,cgb.} + M_{4\,cgb.} \qquad (3)$$

$$\Sigma M_{yg.} = M_{1\,yg.} + M_{2\,yg.}, \qquad (4)$$

где

$M_{1\,cgb.}$ - момент сдвигающих сил, вызванный вертикальными нагрузками от сооружения;

$M_{2\,cgb.}$ - то же, вызванный активным давлением грунта на боковую грань сооружений;

$M_{3\,cgb.}$ - то же, вызванный касательными силами по поверхности скольжения, возникающими за счет веса грунта, расположенного выше поверхности (Ю-;

$M_{4\,cgb.}$ - то же, вызванный креном сооружения;

$M_{1\,yg.}$ - момент удерживающих сил, вызванных силами трения по поверхности скольжения;

$M_{2уд}$ - то же, вызванных сцеплением по поверхности скольжения.

2.22. Момент, вызванный вертикальными нагрузками от сооружения M_I сдв. определяется из выражения.

$$M_{1сдв} = Na \ , \qquad (5)$$

где

N - равнодействующая всех вертикальных нагрузок от сооружения;

a - плечо действия силы N.

2.23. Величины, входящие в формулу (5), находятся по формулам

$$N = G + P \qquad (6)$$

$$a = X_c - X_N \ , \qquad (7)$$

где

X_c - координата точки C.

При этом координаты точки приложения равнодействующей силы находятся из выражения:

$$\left.\begin{aligned} X_N &= \frac{GX_c + PX_p}{N} \\ Y_N &= \frac{GY_G + PY_p}{N} \end{aligned}\right\} . \qquad (8)$$

Физический смысл величин, входящих в формулу (8), указан в п.2.7.

2.24. Момент от активного давления грунта на боковую грань сооружения M_2 сдв. находится как сумма моментов, определяемых для каждого m-го слоя высотой S_m из " n " слоев в пределах высоты φ_1 (рис.2):

$$M_{2сдв} = \sum_{m=1}^{n} E_m l_m \ , \qquad (9)$$

где

E_m - равнодействующая бокового давления грунта для m-го сл[illegible];

l_m - плечо действия силы E_m относительно точки C.

2.25. Величины равнодействующих сил E_m определяются, как для подпорных стен, по формуле:

$$E_m = \frac{a_{m-1} + a_m}{2} \cdot S_m \quad (m = 1,2 \ldots n), \qquad (10)$$

где

Расчетная схема для определения величин активного бокового давления

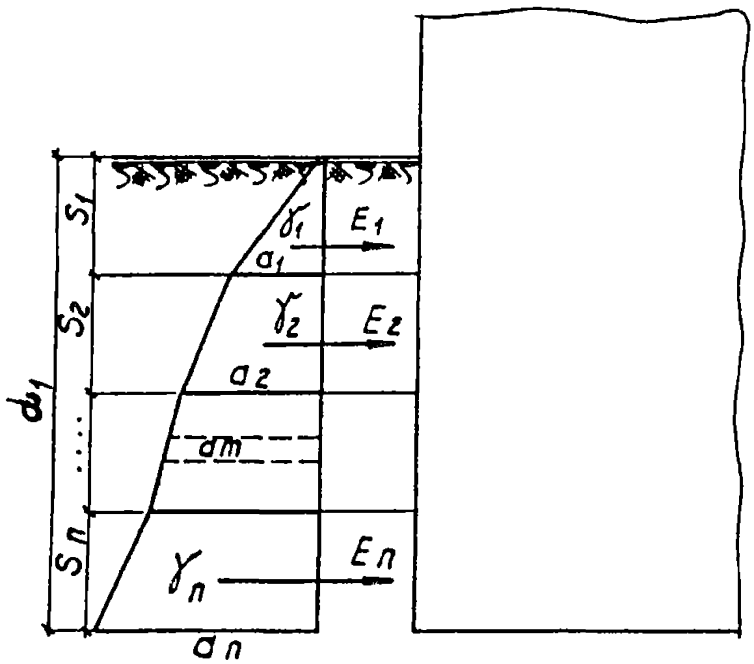

Рис. 2

$\gamma_1, \gamma_2, \ldots \gamma_n$ - удельный вес грунта i-го слоя;

$a_1, a_2, \ldots a_n$ - ординаты бокового давления в уровне подошвы i-го слоя;

$E_1, E_2, \ldots, E_n$ - равнодействующие бокового давления в пределах i-го слоя.

a_{m-1}, a_m – значения ординат бокового давления соответственно на уровне верхней и нижней границы m-го слоя грунта;

S'_m – высота m-го слоя грунта.

2.26. Плечо действия силы относительно точки определяется из выражения:

$$\ell_m = y_c - d_1 + \sum_{j=1}^{m-1} S'_j + \frac{S'_m}{3} \cdot \left(\frac{a_{m-1} + 2a_m}{a_{m-1} + a_m}\right), \qquad (11)$$

где

d_1 – заглубление подошвы фундамента со стороны действия активного бокового давления грунта;

S'_j – высота j-го слоя грунта ($j = 1, 2, \ldots m-1$);

y_c – координата центра поверхности скольжения (точки С).

2.27. Значения ординат бокового давления грунта на уровне подошвы каждого m-го слоя определяется по формуле:

$$a_m = \gamma_m \left(S^{прив}_{m-1} + S'_m\right) tg^2\left(45° - \frac{\varphi_m}{2}\right), \qquad (12)$$

где

γ_m, φ_m – расчетные значения соответственно удельного веса и угла внутреннего трения m-го слоя грунта;

$S^{прив.}_{m-1}$ – приведенная толщина вышележащего однородного слоя грунта, определяемая для каждого m-го слоя ($m = 1, 2, \ldots n$) по формуле:

$$S^{прив.}_{m-1} = \frac{\sum_{j=1}^{m-1} \gamma_j S'_j}{\gamma_m} \qquad (13)$$

или

$$S^{прив.}_{m-1} = \frac{\gamma_1 S_1 + \gamma_2 S_2 + \ldots + \gamma_{m-1} S_{m-1}}{\gamma_m}.$$

2.28. В случае, когда в пределах высоты заглубления Φ_1 грунты являются однородными, эта высота может быть представлена одним слоем толщиной $S'_1 = \Phi_1$. В этом случае формулы (10)-(13) упрощаются и принимают следующий вид:

$$E_m = E_1 = \frac{a_1 d_1}{2}; \qquad (10')$$

$$\ell_m = \ell_1 = y_c - d_1\left(1 - \frac{2}{3} a_1\right); \qquad (11')$$

$$a_m = a_1 = \gamma_1 \cdot d_1 \cdot tg^2\left(45° - \frac{\varphi_1}{2}\right); \qquad (12')$$

$$S^{прив.}_{m-1} = S_0 = 0 \qquad (13')$$

2.29. При неоднородных по глубине грунтах ординату эпюры давления на уровне подошвы I-го слоя находят по формуле

$$a_1 = \gamma_1 S_1 tg^2\left(45° - \frac{\varphi_1}{2}\right), \qquad (12'')$$

на уровне подошвы 2-го слоя –

$$a_2 = \gamma_2 \left(S_1^{прив} + S_2\right) \cdot tg^2\left(45° - \frac{\varphi_2}{2}\right), \qquad (12''')$$

где $S_1^{прив} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} S_1$ (13'')

и далее по формулам (I2) и (I3).

2.30. Момент от касательных сил по поверхности скольжения, возникающих за счет веса грунта, M_3 сдв. находится как сумма моментов от касательных сил, действующих в пределах высоты, ограниченной поверхностью скольжения, и определяется по формуле

$$M_{зсдв} = R \sum_{i=1}^{z} T_i, \qquad (14)$$

где

T_i – сдвигающая сила, действующая по поверхности скольжения в пределах i -ой полосы;

R – радиус поверхности скольжения;

z – целое число выделенных вертикальных полос в пределах поверхности скольжения, определяемое с учетом указаний п.2.33.

Сила T_i находится по формуле

$$T_i = Q_i \sin\alpha_i, \qquad (15)$$

где

Q_i – вес грунта i -той полосы, определяемый по формуле

$$Q_i = b_i \gamma_i h_i, \qquad (16)$$

где

b_i, h_i – соответственно ширина и средняя высота i -той полосы;

α_i – угол между вертикалью, проведенной через центр поверхности скольжения точку C, и нормалью к i -той площадке скольжения в точке, определяемой высотой h_i, то есть в середине полосы b_i и определяемый по указаниям п. 2.32.

Для вычисления средней высоты h_i удобно пользоваться выражением:

$$h_i = \begin{cases} R\cos\alpha_i - y_c, & \text{если } x_i \le b \\ R\cos\alpha_i - y_c + d_2, & \text{если } x_i > b, \end{cases} \qquad (17)$$

где

x_i – координата середины i-той полосы.

Остальные обозначения в формулах (16) и (17) см. п.п. 2.13 и 2.18.

Радиус поверхности скольжения (плечо силы T_i) вычисляется через координаты точки С:

$$R = \sqrt{x_c^2 + y_c^2}. \qquad (18)$$

2.31. Если i-тая полоса включает несколько слоев грунта с различными удельными весами, то вес i-той полосы определяется послойным суммированием по формуле:

$$Q_i = b_i \sum_{j=1}^{k} \gamma_j S_j, \qquad (16')$$

где

k – число слоев грунта в пределах высоты h_i;

В случае, когда высота h_i полностью укладывается в один m-ый слой с удельным весом $\gamma_i = \gamma_m$, вес i-той полосы находят по формуле:

$$Q_i = b_i \gamma_m h_i. \qquad (16'')$$

2.32. Значение угла α_i определяется выражением

$$\alpha_i = \arcsin\left(\frac{x_c - x_i}{R}\right). \qquad (19)$$

Если $x_i > x_c$, то $\alpha_i < 0$, и следовательно в формуле (15) $\sin\alpha_i < 0$, что соответствует восходящей части кривой скольжения, уменьшающей величину сдвигающего момента $M_{сдв}$. Если $x_i < x_c$, то $\alpha_i > 0$ и следовательно $\sin\alpha_i > 0$, что соответствует нисходящей части кривой скольжения, увеличивающей величину сдвигающего момента $M_{сдв}$.

2.33. Число полос Z в формуле (14) будет целым в случае кратности длины горизонтальной проекции CO_1 (рис. 1) и ширины полосы b_i.

Длина проекции OO_I находится по формуле

$$\mathcal{L} = X_c + \sqrt{R^2 - (y_c - \varphi_2)^2}. \qquad (20)$$

Если число полос, определенное на основании значений $\mathcal{L}$ и b_i окажется нецелым, то производится его округление до ближайшего целого. При этом рекомендуется руководствоваться следующим правилом: если ширина последней i-ой полосы $b_в > \frac{b_i}{2}$, то $z = z_o + 1$, где z_o - целая часть отношения $\frac{\mathcal{L}}{b_i}$; в противном случае $z = z_o$.

2,34. Момент от крена сооружения M_4 сдв. возникает при наклоне сооружения в сторону, противоположную направлению сдвига, и определяется по формуле

$$M_{4сдв} = N\beta y_N, \qquad (21)$$

где

β - крен сооружения (в радианах), численно равный горизонтальному смещению центра, приложения равнодействующей внешних вертикальных сил, действующих на сооружение.

Равнодействующая внешних сил N определяется по формуле (6), а точка ее приложения y_N по формуле (8).

2.35. Момент удерживающих сил, вызванных трением по поверхности скольжения, M_I уд. зависит от веса сооружения и веса сдвигаемой части грунтового массива, расположенного выше поверхности скольжения, и определяется по формуле

$$M_{1уд.} = R \sum_{i=1}^{z} V_i, \qquad (22)$$

где

V_i -сила трения по поверхности скольжения в пределах i-го участка (полосы), определяемая по формуле:

$$V_i = (P_i + q_i) \cdot tg\,\varphi_i \cdot \cos\alpha_i, \qquad (23)$$

где

P_i - давление на основание под подошвой фундамента, определяемое в соответствии с указаниями п.п. 2.14 и 2.36;

q_i - давление от веса грунта на уровне поверхности скольжения, определяемое с учетом указаний п.п. 2.15 и 2.36.

2.36. При нахождении давления от веса сооружения p_i рекомендуется пользоваться выражениями:

$$\left.\begin{array}{ll} p_i = \frac{N}{A} + \frac{M}{W}\left(1 - 2\frac{x_i}{b}\right), & \text{если } x_i \le b \\ p_i = 0, & \text{если } x_i > b \end{array}\right\}, \quad (24)$$

где

x_i - координата i -ой точки;

A - площадь горизонтальной проекции фундамента;

W - момент сопротивления горизонтального сечения фундамента;

M - момент, вызванный внецентренным приложением внешней (зерновой) нагрузки.

Величины, входящие в формулу (24), определяют для полосы единичной ширины по формулам:

$$A = b; \quad W = \frac{b^2}{6}; \quad M = N(x_c - x_N), \quad (25)$$

Величина давления от веса грунта q_i принимается равной Q_i в соответствии с п.п. 2.30 и 2.31.

2.37. Момент удерживающих сил, вызванных сцеплением по поверхности скольжения, $M_{2\,уд.}$, определяется по формуле

$$M_{2\,уд.} = R \sum_{i=1}^{z} U_i, \quad (26)$$

где

U_i - касательная сила сцепления по поверхности скольжения в пределах i -ой полосы, определяемая по формуле:

$$U_i = \frac{b_i c_i}{\cos\alpha_i} \quad (27)$$

2.38. Для выполнения расчетов по изложенной методике рекомендуется использовать программу автоматизированного расчета "TAU", разработанную в лаборатории расчета и испытаний сооружений института ЦНИИПромзернопроект. Исходными данными для расчета по указанной программе являются:

- расчетные значения физико-механических характеристик грунтов оснований (γ, φ, c);

- собственный вес сооружения (G);

- вес сыпучего материала (Р), при этом могут рассматриваться случаи полной или частичной загрузки сооружения;

- координаты центров приложения равнодействующих сил G и Р (x_G, y_G, x_P, y_P);

- ширина подошвы фундамента (b);

- глубина заложения подошвы фундамента от планировочной отметки по обе стороны от сооружения (d_1 и d_2);

- величина ожидаемого или существующего крена сооружения (β).

В результате счета по программе на печать выдаются минимальное из всех возможных значение коэффициента устойчивости k и соответствующие ему значения координат центра поверхности скольжения точки С (x_c, y_c) и ее радиус R.

При расчете по программе " TAU " не учитываются ограничения, указанные в п. I.3. настоящих "Рекомендаций".

3. УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕВАТОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОСНОВАНИЯ

3.I. Указания настоящего раздела содержат рекомендации по оценке устойчивости основания в зависимости от физико-механических характеристик грунтов оснований, размеров фундаментов, их заглубления, наличия и величины крена сооружения, величины и характера нагрузки на основание с учетом односторонней зерновой загрузки.

Приведены требования к инженерно-геологическим изысканиям, необходимым для достоверной оценки устойчивостй сооружения, и даны рекомендации по назначению основных параметров поверхности скольжения для выполнения расчетов без применения электронно-вычислительных машин или для ориентировочной оценки устойчивости основания.

Указания настоящего раздела применимы при выполнении ограничений п.I.3 настоящих "Рекомендаций".

3.2. С точки зрения удовлетворения требований несущей способности основания по устойчивости грунты оснований разделены на 3 группы:

I) Грунты, которые по условиям устойчивости не могут служить основанием проектируемых силосных корпусов элеваторов и других аналогичных сооружений;

2) Грунты, которые могут служить естественным основанием под рассматриваемые сооружения при обязательной проверке устойчивости основания расчетом;

3) Грунты, которые могут служить естественным основанием под сооружения элеваторов и их устойчивость может не проверяться расчетом.

3.3. К первой группе относятся: все текучие и текучепластичные глины; мягкопластичные глины, у которых коэффициент пористости $e \geq 1$, угол внутреннего трения $\varphi \leq 7^0$ и удельное сцепление $c \leq 29$ кн/м^2, мягкопластичные суглинки при тех же значениях коэффициента пористости, угла внутреннего трения $\varphi \leq 12^0$ и удельном сцеплении $c \leq 12$ кн/м^2.

3.4. Ко второй группе грунтов относятся мягкопластичные глины и суглинки и тугопластичные суглинки с коэффициентом пористости $1 > e \geq 0{,}65$, а также тугопластичные глины с коэффициентом пористости $1 > e \geq 0{,}9$. Для грунтов этой группы устанавливаются следующие значения углов внутреннего трения и удельного сцепления:

- для мягкопластичных глин $15^0 > \varphi > 7^0$
  $40 \frac{кн}{м^2} > c > 29 \frac{кн}{м^2}$
- для тугопластичных глин $15^0 > \varphi \geq 11^0$
  $40 \frac{кн}{м^2} > c \geq 30 \frac{кн}{м^2}$
- для суглинков $18^0 \geq \varphi > 12^0$
  $20 \frac{кн}{м^2} \geq c > 12 \frac{кн}{м^2}$

Ко 2-ой группе грунтов отнесены также мелкие и пылеватые пески, находящиеся в водонасыщенном состоянии, при коэффициенте пористости $e \geq 0{,}7$ и угле внутреннего трения $\varphi \leq 28^0$. Для песчаных грунтов удельное сцепление допускается принимать равным нулю.

3.5. К третьей группе грунтов относятся: глинистые грунты, начиная от мягкопластичных глин с коэффициентом пористости $e < 0,65$, углом внутреннего трения $\varphi \geq 15^0$ и удельным сцеплением $c > 20$ кн/м^2; песчаные грунты всех видов, кроме мелких и пылевых песков, находящихся в водонасыщенном состоянии при коэффициенте пористости $e < 0,7$ и угле внутреннего трения $\varphi > 28^0$.

3.6. При наличии в основании грунтов, отнесенных к первой или второй группе в соответствии с п.п. 3.3. и 3.4, следует иметь в виду, что поверхностное искусственное изменение свойств грунтов основания практически не приведет к повышению устойчивости, так как она определяется свойствами грунтов до глубины $(0,5-0,8)b$ от подошвы фундамента, где ориентировочно проходит поверхность скольжения.

3.7. Для предварительного назначения параметров поверхности скольжения при оценке устойчивости основания их величины допускается принимать в долях от ширины фундамента в соответствии с таблицей I.

Таблица I

Относительные параметры поверхности скольжения, используемые в расчетах на устойчивость

Наименование параметров	Обозначение	При полной загрузке сыпучим материалом		При частичной односторонней загрузке сыпучим материалом	
		Интервал изменения	Среднее значение	Интервал изменения	Среднее значение
Относительные координаты центра поверхности скольжения	Xc/b	0,9I-I,I7	I,06	0,74-0,96	0,82
	Yc/b	0,4I-0,56	0,44	0,25-0,39	0,32
Относительный радиус поверхности скольжения	R/b	I,0 -I,29	I,I5	0,8 -I,0I	0,88

Примечание:

рекомендации настоящей таблицы определены для корпусов при ширине плитного фундамента $b = 20 \div 26$м, глубине заложения подошвы $(d_1$ и $d_2)$ 1÷2 м и удельном весе грунта $\gamma = 16 \div 20$ кн/м^3. При других исходных данных величина коэффициента устойчивости должна корректироваться в соответствии указаниями п.п. 3.9-3.II.

3.8. При уточнении параметров поверхности скольжения расчетом шаг изменения величин Хс и Ус следует принимать равным I м.

3.9. С уменьшением или увеличением объемного веса грунта, находящегося в пределах массива, ограниченного поверхностью скольжения, на 25% коэффициент устойчивости соответственно уменьшается или увеличивается на (6-I2%). При водонасыщении песчаных грунтов учет взвешивающего действия воды приводит к уменьшению коэффициента устойчивости основания на (20-22%).

3.I0. При изменении ширины плитного фундамента на 30% коэффициент устойчивости основания изменяется соответственно на (4-I0%).

3.II. Изменение глубины заложения подошвы фундамента на I м приводит к соответственному изменению коэффициента устойчивости на 7,5%.

3.I2. Активное давление грунта на боковую поверхность фундамента и части сооружения, находящейся ниже уровня земли, оказывает незначительное влияние на устойчивость, снижая коэффициент устойчивости не более чем на 3%.

3.I3. Частичная односторонняя загрузка корпусов сыпучим материалом не оказывает существенного влияния на устойчивость, особенно для глинистых грунтов. Для песков и суглинков с очень малыми величинами удельного сцепления односторонняя загрузка приводит к уменьшению коэффициента устойчивости на (6-8%).

3.I4. Влияние возможного или существующего крена сооружения мало оказывается на устойчивости основания. При максимальном крене, равном 0,004, допускаемом нормативными документами, коэффициент устойчивости снижается не более чем на I,5%. При наличии крена, равном 0,0I, коэффициент устойчивости уменьшается не более чем на 3,2%.

3.I5. Одновременный учет всех факторов, указанных в п.п. 3.9-3.I4, действующих в наиболее неблагоприятном сочетании, уменьшает коэффициент устойчивости основания на (25-32%).

3,I6. Знание ориентировочного положения центра поверхности скольжения и ее радиуса позволяет из имеющихся данных инженерно-геологических изысканий выбрать именно те физико-механические характеристики грунтов, которые соответствуют расчетной поверхности скольжения как для полной, так и для односторонней зерновой нагрузки. При этом величины угла внутреннего трения и удельного сцепления грунта применяются вдоль поверхности скольжения, а объемный вес грунта - для массива грунта, находящегося над ней.

3.I7. Для получения наиболее достоверной информации, необходимой для выполнения расчетов основания на устойчивость, в задании на производство инженерно-геологических изысканий следует указывать места расположения выработок и их глубину. Эти данные определяются на основании двух параметров: максимальной глубины поверхности скольжения и длины ее горизонтальной проекции. Указанные параметры допускается назначать в зависимости от ширины фундамента в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2

Относительные параметры поверхности скольжения, используемые при назначении мест инженерно-геологических выработок для определения физико-механических характеристик грунтов основания

Наименование параметра	Расчетная формула	При полной загрузке сыпучим материалом		При частичной односторонней загрузке сыпучим материалом	
		Интервал изменения	Среднее значение	Интервал изменения	Среднее значение
I	2	3	4	5	6
Относительная максимальная глубина поверхности скольжения от подошвы фундамента	$\frac{R-y_c}{b}$	0,59-0,8	0,7	0,49-0,7I	0,56
Относительная длина горизонтальной проекции поверхности скольжения по ту сторону от сооружения	$\frac{2x_c}{b}-1$	0,83-I,34	I,I2	0,48-0,93	0,64

В таблице приняты:

$\mathcal{B}$ – ширина плитного фундамента;

x_c, y_c, R – координаты центра и радиус поверхности скольжения.

3.18 На основе данных таблиц I и 2 может быть построено семейство кривых (рис. 3), соответствующих верхней и нижней границам интервалов и характеру загружения. По этим кривым устанавливаются необходимые места отбора образцов грунтов.

3.19. Если направление сдвига известно заранее, то изыскания за пределами сооружения достаточно проводить только со стороны ожидаемого выпора грунта. Если сдвиг возможен в любую сторону, то изыскания надо проводить по обе стороны от сооружения. В последнем случае общая ширина исследуемой зоны будет равна $(4X_c - \mathcal{B})$, что составит в среднем $3{,}25\mathcal{B}$, включая размер сооружения в плане. Во всех случаях ширина исследуемой зоны будет не более $3{,}7B$, а глубина не более $0{,}8\mathcal{B}$. При этом наиболее глубокие выработки располагаются вблизи краев фундаментной плиты.

3.20. При проектировании элеваторных сооружений на естественном основании следует стремиться к минимальной глубине заложения подошвы фундаментов по условиям промерзания и деформаций основания. В случае необходимости расчета основания на устойчивость в соответствии с п.п. 3.2 и 3.4 назначение глубины заложения подошвы фундаментов следует производить с учетом п.п. 3.II и 3.I2 настоящих "Рекомендаций".

3.2I. При проектировании и оценке состояния силосных корпусов элеваторов и аналогичных им сооружений в случае ожидаемого или воз-

Обобщенные параметры поверхности скольжения

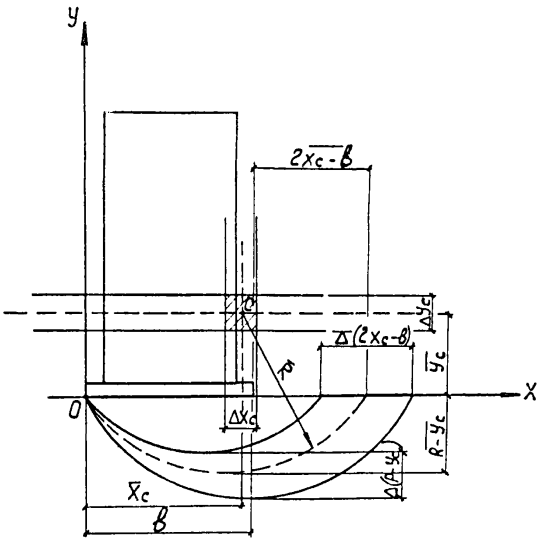

Рис. 3

$\overline{X_c}, \overline{y_c}, \overline{R}$, $\overline{R - y_c}$, $2\overline{X_c - B}$ – средние значения параметров;
ΔX_c, Δy_c, $\Delta(R - y_c)$, $\Delta(2X_c - B)$ - интервалы изменения параметров;
Заштрихован участок возможного положения центра поверхности скольжения.

никшего сверхнормативного крена допускается с точки зрения устойчивости основания назначать величину предельного допустимого крена равной 0,01 в соответствии с п. 3.14 настоящих "Рекомендаций". Уменьшать эту величину следует на основании технологических или эстетических требований.

3.22. Если сооружение получило сверхнормативный крен, то обеспечение его нормальной эксплуатации должно, как правило, обеспечиваться рихтовкой технологического оборудования.

3.23. Мероприятия, связанные с выправлением кренов, как правило, должны предусматривать перераспределение сыпучего материала внутри корпуса. Прочие методы выправления кренов могут применяться в исключительных случаях, когда, например, существует опасность обрушения примыкающих к сооружению конструкций (соединительных галерей, мостов и т.п.), или процесс нарастания кренов имеет нестабилизированный характер, если искусственная стабилизация невозможна или нецелесообразна.

Приложение

П Р И М Е Р

расчета устойчивости основания силосного корпуса элеватора

Определить коэффициент устойчивости и параметры поверхности скольжения силосного корпуса СКС-3-96 при полной и частичной односторонней загрузке корпуса зерном.

Исходные данные

В основании сооружения залегают однородные мягкопластичные глины, обладающие следующими физико-механическими свойствами:

- показатель текучести $0,5 < I_L \leq 0,75$
- коэффициент пористости $e = 0,95$
- расчетный угол внутреннего трения $\varphi = 10^0$
- расчетное удельное сцепление $c = 33$ кн/м^2
- расчетный удельный вес грунта $\gamma = 16$ кн/м^3

Судя по физико-механическим характеристикам грунта в соответствии с п. 3.4 настоящих "Рекомендаций" его можно отнести ко 2-ой группе грунтов, следовательно, проверка устойчивости основания является обязательной.

Заглубление подошвы фундаментов:

$d_1 = 2,0$ м ; $d_2 = 1,0$ м.

Ширина плитного фундамента $b = 25,7$ м. Нагрузка от собственного веса сооружения на единицу длины, определенная с учетом соответствующих коэффициентов перегрузки, $G = 2880$ кн/м;

Расчетная нагрузка от зерна:

- при полной загрузке $P = 6240$ кн/м;
- при частичной односторонней загрузке на $\frac{2}{3}$ ширины корпуса $P = 4060$ кн/м.

Ожидаемый крен сооружения $tg\beta = 0,004$.

Потеря устойчивости возможна в направлении, при котором выпор грунта происходит со стороны меньшего заглубления d_2 =1,0 м. Наклон сооружения (крен) предполагается в противоположном направлении, так как это увеличивает вероятность потери устойчивости.

Производим разбивку основания на горизонтальные слои и вертикальные участки (полосы) в соответствии с рис. 4. От поверхности земли до подошвы фундамента разбиваем толщу основания на слои высотой S_m =0,5 м. Таким образом, слева от сооружения (в пределах заглубления d_1 =2,0 м), где действует активное боковое давление грунта, получилось 4 слоя, а справа (в пределах заглубления d_2 =1,0м), где возможен выпор грунта, - 2 слоя.

Ниже подошвы фундамента примем слои высотой S =1 м.

Ширину i -ой вертикальной полосы принимаем равной $\frac{1}{12}$ ширины плитного фундамента, то есть $b_i = \frac{1}{12} = \frac{1}{12} \cdot 25,7 = 2,14$ м.

Начало координат принято в точке 0. Координаты точки приложения равнодействующей собственного веса сооружения Хс=12,85 м, Уо=21,0 м. Координаты точки приложения равнодействующей зерновой нагрузки при полной и частичной односторонней загрузке составляют:

$$\left.\begin{array}{l} X_p = 12.85\,м \\ Y_p = 22.0\,м \end{array}\right\} \quad - \quad \text{при полной загрузке,}$$

$$\left.\begin{array}{l} X_p = 8.85\,м \\ Y_p = 22.0\,м \end{array}\right\} \quad - \quad \text{при частичной загрузке.}$$

Расчеты основания на устойчивость выполнены по программе "ТАУ" на ЭВМ. Координатная сетка при отыскании центра поверхности скольжения, соответствующей минимальному из всех возможных коэффициенту устойчивости, варьировалась с шагом 1 м в направлении осей Х и У. В результате счета по программе получены параметры поверхности скольжения и коэффициент устойчивости основания.

Расчётная схема к примеру расчёта на устойчивость

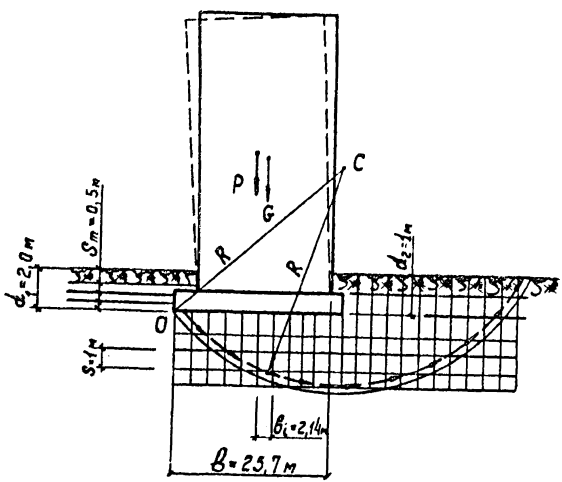

Рис. 4

Результаты расчета

Расчетный параметр	Обозначение	При полной зерновой загрузке корпуса	При частичной односторонней зерновой загрузке корпуса
Координаты центра поверхности скольжения	Хс	26,0 м	20,0 м
	Ус	II,0 м	9,0 м
Радиус поверхности скольжения	R	28,2 м	2I,9 м
Коэффициент устойчивости основания	$k = k_{min}$	I,253	I,257

Из полученных результатов следует, что как при полной, так и при частичной односторонней зерновой загрузке корпуса устойчивость основания обеспечена, так как $k > I,2$.

На основании полученных величин найдем те параметры поверхности скольжения, которые могут быть использованы при назначении мест расположения и глубины выработок для отбора образцов грунтов.

Максимальная глубина поверхности скольжения от подошвы фундамента

$$R - y_c = \begin{cases} 28,2 - 11 = 17,2\,м & \text{– при полной загрузке} \\ 21,9 - 9 = 12,9\,м & \text{– при частичной загрузке.} \end{cases}$$

Длина горизонтальной проекции поверхности скольжения по одну сторону от сооружения.

$$2x_c - b = \begin{cases} 2 \cdot 26 - 25,7 = 26,3\,м & \text{– при полной загрузке} \\ 2 \cdot 20 - 25,7 = 14,3\,м & \text{– при частичной загрузке.} \end{cases}$$

Общая максимальная ширина исследуемой зоны, если направление сдвига заранее неизвестно (при полной загрузке корпуса)

$$4x_c - b = 4 \cdot 26 - 25,7 = 78,3\,м.$$

Найдем теперь относительные параметры поверхности скольжения и сопоставим их со средними значениями, приведенными в таблице I и 2

(п.п. 3.7 и 3.I7 настоящих "Рекомендаций"). Сопоставление найденных значений приведено в таблице.

Наименование параметров	Обозначение	При полной зерновой загрузке корпуса		При частичной односторонней зерновой загрузке	
		Полученное значение	Среднее значение	Полученное значение	Среднее значение
Относительные координаты центра поверхности скольжения	X_c/b	I,0I	I,06	0,78	0,82
	Y_c/b	0,43	0,44	0,35	0,32
Относительный радиус поверхности скольжения	R/b	I,I0	I,I5	0,85	0,88
Относительная максимальная глубина поверхности скольжения от подошвы фундамента	$\frac{R-Y_c}{b}$	0,67	0,7	0,50	0,56
Относительная длина горизонтальной проекции поверхности скольжения по одну сторону от сооружения	$\frac{2X_c}{b}-1$	I,02	I,I2	0,56	0,64

Из приведенной сопоставительной таблицы следует, что средние значения основных параметров поверхности скольжения незначительно отличаются от величин, полученных в результате расчета, выполненного при помощи ЭВМ. При этом полученные расчетом величины укладываются в интервалы, указанные в таблице I (п.3.7) и в таблице 2 (п.3.I7). Это подтверждает правомерность назначения расчетных параметров поверхности скольжения при предварительной оценке устойчивости основания и мест отбора образцов грунта в соответствии с разделом 3 настоящих "Рекомендаций".

Общая максимальная ширина исследуемой зоны (78,3 м) составила 3,05 b, что хорошо согласуется с п. 3.I9, согласно которому средняя ширина этой зоны может приниматься равной 3,25 b (в данном случае это составит 83,5 м).

Техред Л.В.Скоробогатова

Подписано к печати 17.10.85 Ротапринт

Бумага 60x90 1/16 д.л. 1,0 б.л. 2,0 усл.п.л. 2,0 уч.изд.л.

Изд. № 262 Заказ 2172 Тираж 254 экз.

ЦНИИТЭИ Минзага СССР,105187,Москва,Е-187,Щербаковская,д.50-52,тел. 369-47-87

Тип.ЦНИИТЭИ Минзага СССР,123290, Москва,Д-290, Шмитовский проезд,д.39

gost.e-ecolog.ru