Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емец Валерий Сергеевич
Должность: Директор филиала
Дата подписания: 01.09.2026 12:23:27
Уникальный программный ключ:
f2b8a1573c931f1098cfe6...

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

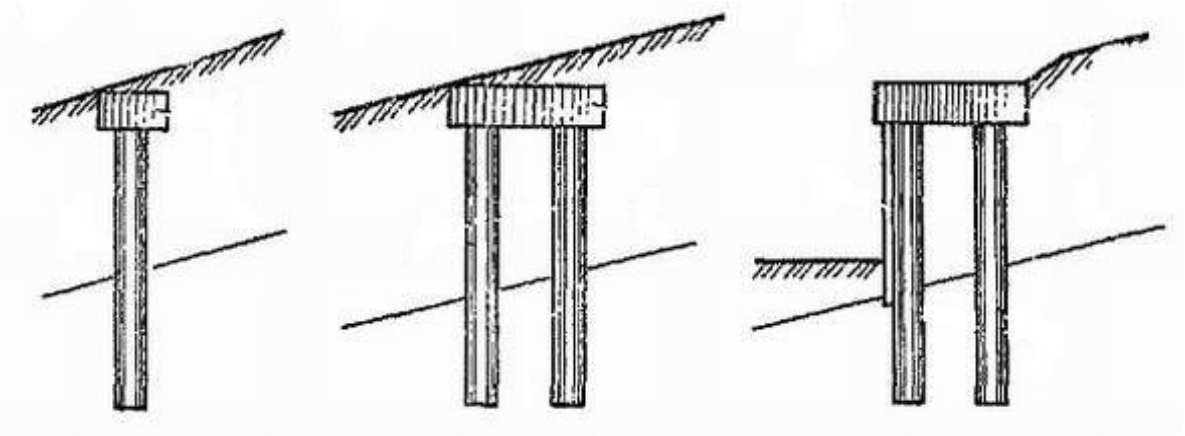
Рязанский институт (филиал)
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Промышленное и гражданское строительство»

Н.А. Антоненко

Расчет и конструирование сооружения, удерживающего грунтовый откос

Методические указания по выполнению курсового проекта
по дисциплине
«Проектирование оснований, подпорных стен и ограждений котлованов»



Рязань 2025

УДК 69
ББК 38
А72

Антоненко, Н.А.
А 72 Расчет и конструирование сооружения, удерживающего грунтовый откос: методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Проектирование оснований, подпорных стен и ограждений котлованов)» / Н.А. Антоненко. – Рязань : Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2022. – 28 с.

В учебно-методическом пособии изложены общие принципы и последовательность выполнения курсового проекта по дисциплине "Проектирование оснований, подпорных стен и ограждений котлованов".

Пособие предназначено для магистрантов, обучающихся по магистерским программам направления подготовки 08.04.01 «Строительство».

Печатается по решению методической комиссии Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.

УДК 69
ББК 38

© Антоненоко Н.А. 2025
© Рязанский институт (филиал)
Московского политехнического
университета, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ....4
1. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ....5
2. СОСТАВ И ОБЪЕМ РАБОТЫ....5
3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ....6
4. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВОГО ОТКОСА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СДВИГАЮЩЕГО УСИЛИЯ....7
5. РАСЧЕТ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ УДЕРЖИВАЮЩЕГО СООРУЖЕНИЯ НА СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СИЛЫ И МОМЕНТА....10
6. ПРИМЕР РАСЧЕТА....15
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ....22
Приложение....23

ВВЕДЕНИЕ

Строительство зданий и сооружений, расположенных вблизи откосов и склонов, сопряжено с необходимостью обеспечения устойчивости больших массивов грунта откоса. В противном случае вероятно возникновение оползневого процесса с образованием поверхности скольжения на большой глубине. В целях обеспечения устойчивости оползающих масс могут быть применены различного рода противооползневые сооружения, наиболее распространенными и простыми среди которых являются удерживающие конструкции в виде рядов свай, объединенных поверху монолитным ленточным ростверком

Одновременно с изучением программного теоретического материала по дисциплине «Специальные вопросы проектирования оснований и фундаментов» учебный план предусматривает выполнение магистрантами курсовой работы, состоящей из 3 разделов, одним из которых является раздел «Обеспечение устойчивости грунтовых откосов». Выполнение данной работы является одним из ответственных звеньев учебного процесса и имеет цель закрепить полученные студентами теоретические знания, а также должно способствовать умелому применению этих знаний при инженерном решении задач по оценке устойчивости грунтовых откосов и проектирования, при необходимости, сооружения, удерживающего грунтовый откос.

1. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

Одним из разделов курсовой работы по дисциплине «Проектирование оснований, подпорных стен и ограждений котлованов» является раздел «Расчет и конструирование сооружения, удерживающего грунтовый откос». В данном разделе рассматривается устойчивость грунтового откоса, пригруженного сплошной равномерной нагрузкой. Параметры рассчитываемого откоса при-ведены в табл. 1.

Курсовая работа выполняется по индивидуальному заданию, соответствующему трехзначному шифру, который присваивается преподавателем. Например, шифру 123 соответствуют: проектная высота откоса – 23м, крутизна откоса – 1:1,2; пригруз – q= 120 кПа; удельный вес грунта – 18,9кН/м^3; параметры прочности грунта: $\varphi = 15°$; c = 30 кПа, вид грунта откоса – супесь твердая.

2. СОСТАВ И ОБЪЕМ РАБОТЫ

Данный раздел курсовой работы должен содержать подробную расчетно-пояснительную записку и чертежи, размещенные на одном листе формата А3.

Листы пояснительной записки должны иметь сквозную нумерацию и быть сброшюрованы. Расчеты необходимо сопровождать ссылками на соответствующую техническую литературу. Список использованной литературы следует размещать в конце пояснительной записки.

Расчетная часть

1. Определение коэффициента устойчивости откоса методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения.
2. Определение значений сдвигающего усилия и изгибающего момента, воздействующих на конструкцию, удерживающую откос.
3. Расчет удерживающего сооружения в виде одного ряда буронабивных свай, объединенных ленточным ростверком, на совместное действие горизонтальной нагрузки и момента.

Графическая часть

1. Инженерно-геологический разрез по откосу.
2. План ленточного ростверка удерживающей конструкции.
3. Схема армирования буронабивной сваи.
4. Конструкция арматурного каркаса буронабивной сваи.
5. Схема армирования ж/б ленточного ростверка.
6. Спецификация железобетонных и арматурных изделий.

3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1

Наименование параметра	Цифры шифра задания									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Высота грунтового откоса H, м *(по 1 цифре шифра)*	19	23	26	24	28	20	21	22	25	27
Крутизна откоса 1:m *(по 1 цифре шифра)*	1:1,15	1:1,2	1:1,1	1:1,3	1:1,25	1:1,1	1:1,25	1:1,15	1:1,3	1:1,2
Пригруз, q, кПа *(по 2 цифре шифра)*	90	50	70	100	80	40	85	65	55	75
Удельный вес грунта γ_I, кН/м^3 *(по 2 цифре шифра)*	18,5	18,7	18,9	19,1	19,3	19,5	19,7	19,0	18,3	18,1
Угол внутреннего трения φ_I, град. *(по 3 цифре шифра)*	19	21	19	15	20	21	16	23	22	16
Удельное сцепление c_I, кПа *(по 3 цифре шифра)*	26	25	28	34	23	23	32	21	24	33
Вид грунта откоса *(по 3 цифре шифра)*	супесь пластичная	суглинок полутвердый	суглинок мягкопласт.	супесь твердая	суглинок полутвердый	супесь пластичная	супесь твердая	супесь твердая	суглинок тугопласт.	суглинок тугопласт.

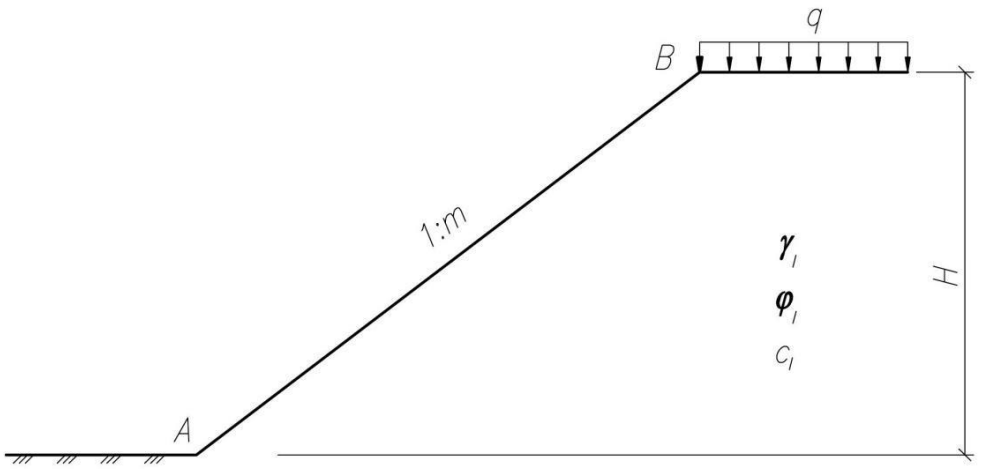


Рис. 1. Схема к заданию

4. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВОГО ОТКОСА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СДВИГАЮЩЕГО УСИЛИЯ

Суть метода расчета

Как показывают наблюдения, грунтовые откосы обрушиваются по криволинейной поверхности, которую без особых погрешностей можно принять за круглоцилиндрическую. Шведским инженером В. Феллениусом разработан метод расчета устойчивости откосов, в основе которого лежит статический расчет устойчивости отдельных вертикальных элементов массы грунта, ограниченных сверху поверхностью грунта, а снизу – круглой дугой скольжения. Метод носит название расчета по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения.

Для определения коэффициента устойчивости сползающую часть массива делят вертикальными сечениями на ряд призм (рис. 1). При этом принимается, что каждая отдельная призма сохраняет равновесие независимо от смежных призм, т.е. что силы сцепления и трения в вертикальных сечениях отсутствуют.

При расчёте оползающего массива рассматривают устойчивость полосы шириной 1 м, перпендикулярной оси откоса.

Коэффициент устойчивости определяется по отношению моментов удерживающих и сдвигающих сил относительно оси поверхности скольжения:

$$k_y = \frac{\sum_{i=1}^{n} M_{i,уд}}{\sum_{i=1}^{n} M_{i,сдв}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(P_i \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i + c_i l_i + P_i^* \sin\alpha_i \right)}{\sum_{i=1}^{n} P_i \sin\alpha_i}, \qquad (4.1)$$

где $P_i = G_i + b_i q$;

$G_i = \gamma_i V_i$ – вес расчетного блока;

b_i – ширина блока;

q – нагрузка на поверхности;

α_i – наклон поверхности скольжения к горизонту;

φ_i – угол внутреннего трения на поверхности скольжения;

l_i – длина поверхности скольжения;

c_i – удельное сцепление грунта;

P_i^* – вес тех блоков, которые создают удерживающие моменты сил.

Устойчивость откоса считается обеспеченной при условии $k_y \geq 1{,}2$.

Практика показала, что метод В. Феллениуса приводит к некоторому запасу прочности. К сожалению, метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения не дает возможности запроектировать откос с заранее заданным коэффициентом устойчивости. Лишь постепенно изменяя поперечный профиль откоса, путем последовательных попыток можно приблизиться к желаемому коэффициенту устойчивости.

Последовательность выполнения расчета

1. Расчет устойчивости выполняется графоаналитическим методом, поэтому вначале от руки в масштабе (1:100 или 1:200) или с использованием программы AutoCAD вычерчивают поперечный разрез откоса (рис. 1).

2. Определяют местоположение центра наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения. Для откосов в однородной толще грунтов весьма полезным для определения координат *X* и *Y* центра *O* наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения, для которой коэффициент устойчивости k_y получается минимальным, является график Янбу, представленный на рис. П.1 приложения настоящего пособия. Для этого определяют значение $\lambda_{cp} = \dfrac{\gamma \cdot H \cdot \mathrm{tg}\varphi}{c}$ и угол наклона грунтового откоса $\alpha = \mathrm{arctg}(1/m)$, по которым, используя график Янбу, находят относительные координаты x_0 и y_0 центра наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения *O*. Абсолютные координаты центра *O* при этом определятся как $X=x_0 \cdot H$; $Y=y_0 \cdot H$.

3. Оползающий массив грунта вертикальными линиями разбивают на блоки. Ширину блоков принимают не более 3-4 м. Одна из вертикальных границ блоков должна проходить через бровку откоса (в частном случае вертикаль, падающая на откос от точки *O*, также может являться границей одного из блоков, например, между 1 и 2 блоками). Блоки должны быть пронумерованы, начиная от подошвы откоса.

4. На середину основания каждого блока из точки *O* опускается прямая. Направление реакции блока на основание N_i совпадает с этой прямой, а удерживающие и сдвигающие силы T_i проходят перпендикулярно ей.

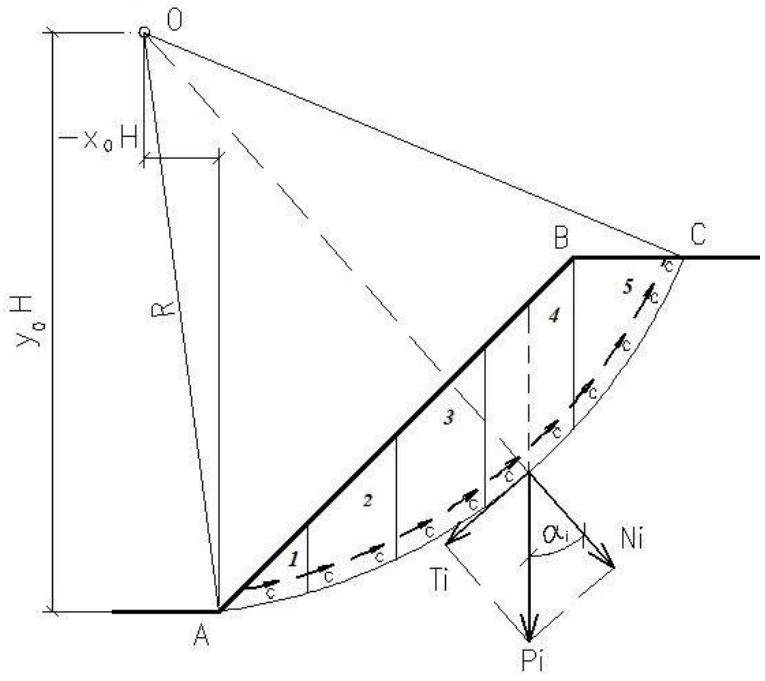


Рис. 2. Схема к расчету устойчивости откоса

5. Далее расчет следует вести в табличной форме (табл. 2). При этом для удобства измерений и вычислений дуга скольжения без особых погрешностей заменяется линией ломаного очертания. Углы α_i измеряются транспортиром или в программе AutoCAD, длина дуги l_i вычисляется по формуле $l_i = b_i / \cos\alpha_i$.

Таблица 2

№ блока	Средняя высота блока, h_i, м	Ширина блока, b_i, м	Объем блока, V_i, м	Вес блока, G_i, кН	Нагрузка на поверхности $q \cdot b_i$, кН	$P_i = G_i + q \cdot b_i$, кН
1	2	3	4	5	6	7

Продолжение табл.2

α_i, град	$P_i \cdot \cos\alpha_i \cdot \mathrm{tg}\varphi_i$, кН	$P_i \cdot \sin\alpha_i$, кН	$P_i^* \sin\alpha_i$, кН	$c \cdot l_i$, кН	$T_{сдв,i}$, кН
8	9	10	11	12	13

Примечание: Сдвигающее усилие для каждого блока определяется по выражению

$$T_{сдв,i} = (1{,}1 \cdot P_i \cdot \sin\alpha_i - P_i \cdot \cos\alpha_i \cdot \mathrm{tg}\varphi_i - P_i^* \sin\alpha_i - c \cdot l_i) \cdot \cos\alpha_i .$$

6. После заполнения табл. 2 по формуле (4.1) определяется коэффициент устойчивости k_y для рассмотренной поверхности скольжения относительно центра O.

7. По результатам расчета составляется заключение об устойчивости откоса. При условии $k_y \geq 1{,}2$ устойчивость считается обеспеченной.

8. При невыполнении условия определяется суммарное значение сдвигающего усилия $T_{сдв} = \Sigma T_{сдв,i}$,которое в дальнейшем будет передаваться на проектируемое удерживающее сооружение (рис. 3).

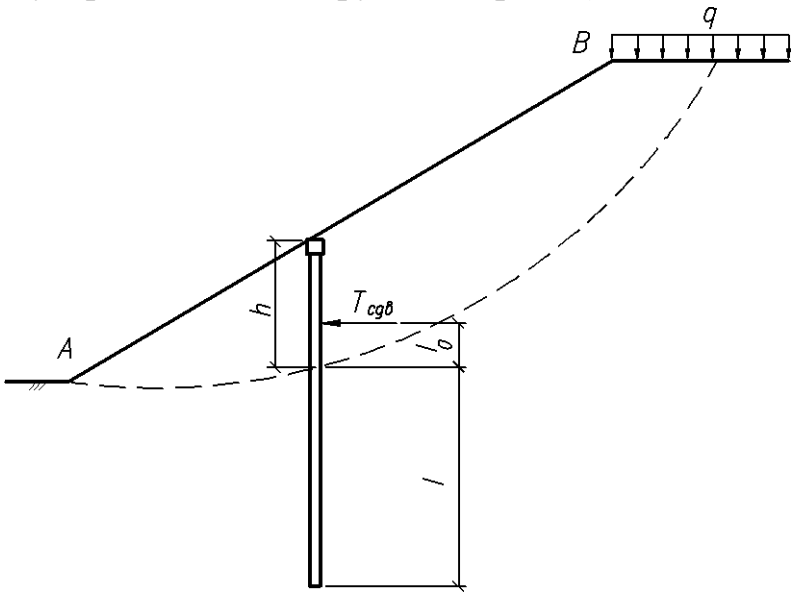


Рис. 3. Схема приложения сдвигающей силы на удерживающее сооружение

5. РАСЧЕТ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ УДЕРЖИВАЮЩЕГО СООРУЖЕНИЯ НА СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СИЛЫ И МОМЕНТА

Общие положения

Расчет буронабивных свай удерживающего сооружения на совместное действие горизонтальной силы и момента должен производиться в соответствии со схемой, приведенной на рис. 4, и включать в рамках настоящей курсовой работы следующие операции:

а) расчет устойчивости грунта основания, окружающего сваю;

б) проверку сечений свай по сопротивлению материала по предельным состояниям первой группы (по прочности) на совместное действие расчетных усилий: изгибающего момента и поперечной силы.

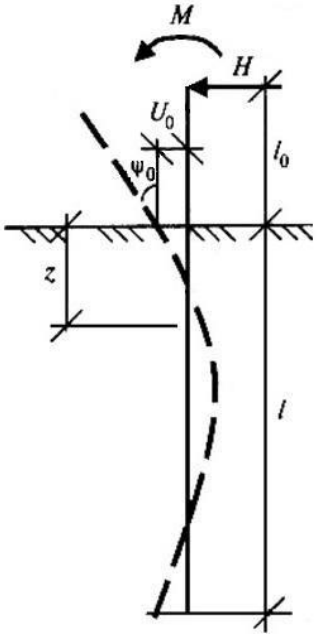


Рис. 4. Схема нагрузок на сваю

Значение горизонтальной силы H принимается равным величине $T_{сдв}$. В случае жесткой заделки сваи в ростверк, если исключается возможность поворота ее головы (например, в жесткий ростверк с двумя и более рядами свай), в расчетах необходимо учитывать момент заделки $M = M_f$, действующий в месте сопряжения сваи с ленточным ростверком.

При расчете свай на горизонтальную нагрузку грунт, окружающий сваю, допускается рассматривать как линейно-деформируемую среду, характеризующуюся коэффициентом постели c_z, кН/м^3.

Расчетное значение коэффициента постели c_z, кН/м^3, грунта на боковой поверхности сваи допускается определять по формуле

$$c_z = Kz, \qquad (5.1)$$

где K – коэффициент пропорциональности, кН/м^4, принимаемый в зависимости от вида грунта по табл. П.1 настоящего пособия;

z – глубина расположения сечения сваи в грунте, м, для которой определяют коэффициент постели, по отношению к поверхности грунта.

Определение длины и геометрических характеристик сечения железобетонной сваи

Предварительная глубина погружения сваи ниже линии скольжения определяется по формуле

$$l = \frac{\pi}{2}\sqrt[4]{\frac{4EI}{c_z \cdot d}}, \qquad (5.2)$$

где d – наружный диаметр круглого или сторона квадратного сечения сваи, м;

$E = E_b$ – начальный модуль упругости бетона сваи при сжатии, кПа;

$I = I_b + \alpha \cdot I_s$ – приведенный момент инерции поперечного сечения железобетонной сваи, м^4;

$\alpha = E_s / E_b$ – коэффициент приведения;

$I_b = \frac{\pi d^4}{64}$ – момент инерции бетонного сечения сваи, м^4;

$I_s = \Sigma A_{s1\ i}\, a_i^2$ – момент инерции сечения арматурного каркаса, м^4;

A_{s1} – площадь поперечного сечения арматурного стержня, м^2;

a_i – расстояние от оси арматуры до оси сечения сваи, м.

При наличии в пределах длины сваи нескольких слоев грунта рекомендуется пользоваться одним приведенным значением коэффициента пропорциональности K, принимаемым в зависимости от грунтов, расположенных до глубины l_K, м, отсчитываемой от поверхности грунта при высоком ростверке или от подошвы ростверка при низком ростверке

$$l_K = 3{,}5d + \Delta, \qquad (5.3)$$

где Δ – коэффициент, принимаемый равным 1,5 м.

Расчеты свай по предельным состояниям двух групп следует выполнять с использованием значений приведенной глубины погружения сваи в грунт $\bar{l}$ и приведенной глубины расположения сечения сваи в грунте $\bar{z}$, определяемых по формулам:

$$\bar{l} = \alpha_\varepsilon l; \qquad (5.4)$$

$$\bar{z} = \alpha_\varepsilon z, \qquad (5.5)$$

где l и z – действительные глубина погружения сваи в грунт и глубина расположения сечения сваи в грунте, отсчитываемые от линии скольжения, м;

α_ε – коэффициент деформации, 1/м, определяемый по формуле

$$\alpha_\varepsilon = \sqrt[5]{\frac{K \cdot b_p}{E\,I}}, \qquad (5.6)$$

где K – коэффициент пропорциональности, кН/м^4;

b_p – условная ширина сваи, м, принимаемая равной: для набивных и буровых свай с диаметром стволов от 0,8 м и более $b_p = d + 1$м, а для остальных видов и размеров сечений свай $b_p = 1{,}5d + 0{,}5$м.

Расчет перемещений сваи

Горизонтальное перемещение U_0, м, и угол поворота ψ_0, рад, следует определять по формулам:

$$U_0 = H_0 \cdot \varepsilon_{HH} + M_0 \cdot \varepsilon_{HM}, \quad (5.7)$$

$$\psi_0 = H_0 \cdot \varepsilon_{MH} + M_0 \cdot \varepsilon_{MM}, \quad (5.8)$$

где H_0 и M_0 – расчетные значения соответственно поперечной силы, кН, и изгибающего момента, кН·м, в уровне линии скольжения, принимаемые равными $H_0=H$ и $M_0=M+H\cdot l_0$ [где H и M – расчетные значения поперечной силы, кН, и изгибающего момента, кН·м, действующие на голову сваи] (см. рис. 4);

ε_{HH} – горизонтальное перемещение сечения, м/кН, от силы $H_0=1$ (рис. 5,а);

ε_{HM} – горизонтальное перемещение сечения, 1/кН·м, от момента $M_0=1$ (рис. 5,б);

ε_{MH} – угол поворота сечения, 1/кН, от силы $H_0=1$ (рис. 5,а);

ε_{MM} – угол поворота сечения, 1/(кН·м), от момента $M_0=1$ (рис. 5,б).

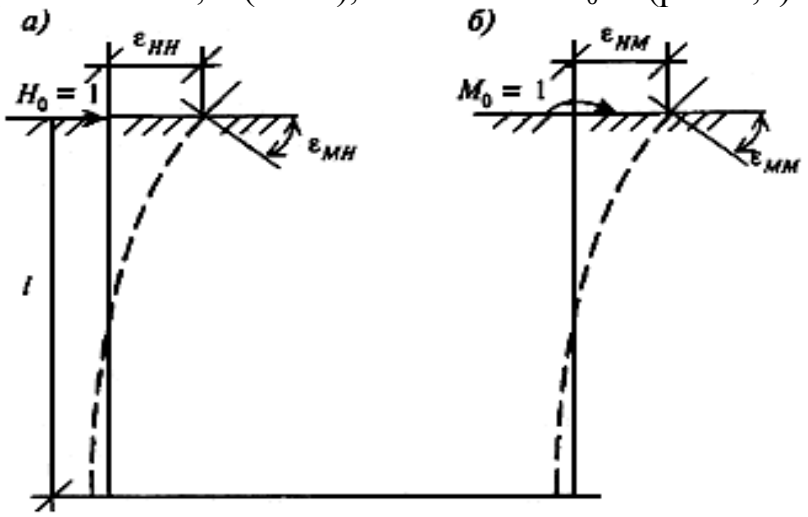


Рис. 5. Схема перемещений сваи в грунте:
а) перемещения от действия силы $H_0=1$, приложенной в уровне поверхности грунта; б) перемещения от действия момента $M_0=1$

Перемещения ε_{HH}, $\varepsilon_{HM} = \varepsilon_{MH}$ и ε_{MM} вычисляют по формулам:

$$\varepsilon_{HH} = \frac{1}{\alpha_\varepsilon^3 EI} A_0, \quad (5.9)$$

$$\varepsilon_{MH} = \varepsilon_{HM} = \frac{1}{\alpha_\varepsilon^2 EI} B_0, \quad (5.10)$$

$$\varepsilon_{MM} = \frac{1}{\alpha_\varepsilon EI} C_0, \quad (5.11)$$

где α_ε, E и I – то же, что и в формуле (5.6);

A_0, B_0, C_0 – безразмерные коэффициенты, принимаемые по таблице Д.2 [6] или по табл. П.2 приложения настоящего пособия в зависимости от приведенной глубины заложения свай в грунте $\bar{l}$.

Расчет устойчивости грунта основания, окружающего сваю

Расчетное давление σ_z, кПа, на грунт по контакту с боковой поверхностью сваи, возникающее на глубине z, следует определять по формуле:

$$\sigma_z = Kz\left(U_0 A_1 - \frac{\psi_0}{\alpha_\varepsilon} B_1 + \frac{M_0}{\alpha_\varepsilon^2 EI} C_1 + \frac{H_0}{\alpha_\varepsilon^3 EI} D_1\right), \quad (5.12)$$

где σ_z – расчетное давление на грунт, кПа, боковой поверхности сваи, определяемое на следующих глубинах z, м, отсчитываемых от линии скольжения:

- при $\bar{l} > 2{,}5$ – на глубине $z = \frac{0{,}85}{\alpha_\varepsilon}$, где α_ε определяют по формуле (5.6);

- при $\bar{l} \le 2{,}5$ – на двух глубинах, соответствующих $z = l/3$ и $z = l$;

A_1, B_1, D_1 и C_1 – коэффициенты; принимаемые по табл. Д.3 [6] или по табл. П.3 приложения настоящего пособия.

Расчет устойчивости основания, окружающего сваю, должен производиться по условию ограничения расчетного давления σ_z, оказываемого на грунт боковыми поверхностями свай

$$\sigma_z \le \eta_1 \eta_2 \frac{4}{\cos\varphi_I}\left[\gamma_I (z + h)\operatorname{tg}\varphi_I + \xi \cdot c_1\right], \quad (5.13)$$

где h – расстояние по вертикали от поверхности откоса до линии скольжения;

η_1 – коэффициент, равный единице, кроме случаев расчета фундаментов распорных сооружений, в которых η_1 следует принимать равным 0,7;

η_2 – коэффициент, учитывающий долю постоянной нагрузки в суммарной нагрузке, определяемый по формуле (5.14);

γ_I – расчетный удельный вес грунта ненарушенной структуры, кН/м^3;

φ_I и c_I – расчетные значения соответственно угла внутреннего трения грунта, град., и удельного сцепления грунта, кПа;

ξ – коэффициент, принимаемый равным для буронабивных свай – 0,3;

$$\eta_2 = \frac{M_c + M_t}{\bar{n} M_c + M_t}, \quad (5.14)$$

где M_c – момент от внешних постоянных расчетных нагрузок в сечении сваи, кН·м;

M_t – то же, от внешних временных расчетных нагрузок, кН·м;

$\bar{n}$ – коэффициент, принимаемый равным 2,5.

В случае, если расчетные горизонтальные давления на грунт σ_z, определенные по формуле (5.12), не удовлетворяют условию (5.13), но при этом несущая способность свай по материалу недоиспользована, то при приведенной глубине свай $\bar{l} > 2{,}5$ расчет следует повторить, приняв уменьшенное значение коэффициента пропорциональности K. Если и при этом условие (5.13) не соблюдается, то необходимо увеличить длину и (или) диаметр сваи.

Проверка сечений сваи по прочности на изгиб

Проверка сечений железобетонной сваи по прочности на изгиб выполняется по условию

$$M_z \le M_p \tag{5.15}$$

где M_z – расчетный изгибающий момент, кН·м, действующий на глубине z в сечении сваи;

M_p – предельное значение изгибающего момента, воспринимаемого нормальным сечением железобетонной сваи, кН·м.

Расчетный изгибающий момент M_z, действующий на глубине z в сечении сваи, следует определять по формуле:

$$M_z = \alpha_\varepsilon^2 EIU_0 A_3 - \alpha_\varepsilon EI\psi_0 B_3 + M_0 C_3 + \frac{H_0}{\alpha_\varepsilon} D_3, \tag{5.16}$$

где K – коэффициент пропорциональности;

α_ε, E и I – то же, что и в формуле (5.6);

$\bar{z}$ – приведенная глубина, определяемая по формуле (5.5) в зависимости от значения действительной глубины z, для которой определяют значения момента M_z;

H_0, M_0, U_0 и ψ_0 – то же, что и в (5.12);

A_3, B_3, D_3 и C_3 – коэффициенты; принимаемые по табл. Д.3 [6] или по табл. П.3 приложения настоящего пособия.

Предельное значение изгибающего момента, воспринимаемого нормальным сечением железобетонной сваи M_p, в рамках данной курсовой работы допускается определять по упрощенной формуле

$$M_p = R_s A_s (0{,}8h_0 - a_s) \tag{5.17}$$

где R_s – расчетное сопротивление арматуры на растяжение, кПа;

A_s – площадь поперечного сечения растянутых арматурных стержней (условно допускается принять равной половине площади поперечного сечения всех стержней), м^2;

h_0 – рабочая высота круглого сечения сваи, м;

a_s – расстояние от края сваи до оси арматуры, м;

0,8 – коэффициент поправки при приведении круглого сечения сваи в квадратное.

Расчетный момент заделки M_f, кН·м, учитываемый при расчете свай, имеющих жесткую заделку в ростверк, обеспечивающий невозможность поворота головы сваи, следует определять по формуле

$$M_f = -\frac{\varepsilon_{MH} + l_0\varepsilon_{MM} + l_0^2/2EI}{\varepsilon_{MM} + l_0/EI} \cdot H, \tag{5.18}$$

где все буквенные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

При этом знак «–» означает, что при горизонтальной силе H, направленной, например, слева направо, на голову сваи со стороны заделки передается момент, направленный против часовой стрелки.

6. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Исходные данные и задание к работе

Требуется проверить методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения устойчивость грунтового откоса высотой H =21 м и с заложением откоса m=1,15. Заданный грунт – суглинок тугопластичный – в состоянии его природной влажности имеет следующие физико-механические характеристики:

- угол внутреннего трения грунта φ_I=18°;
- удельное сцепление грунта c_I=29 кПа;
- удельный вес грунта γ_I=19,4 кН/м^3.

На поверхность грунта приложена равномерно распределенная нагрузка интенсивностью q=100 кПа.

В случае, если откос окажется неустойчивым, необходимо законструировать удерживающую конструкцию из буронабивных свай.

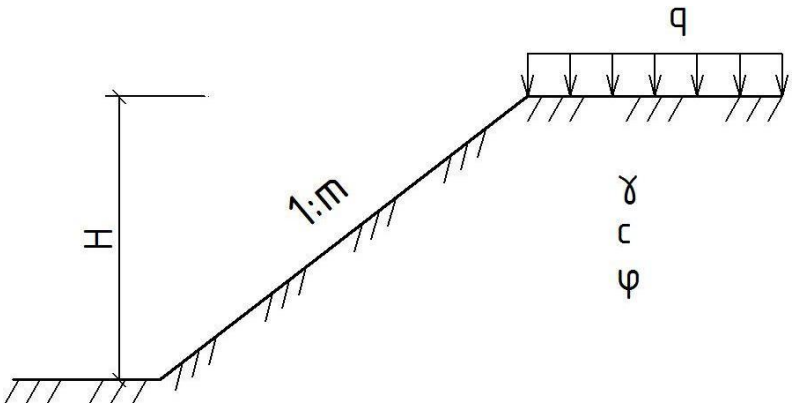


Рис.6. Схема откоса

Определение коэффициента устойчивости откоса

В проектной практике решения подобных задач широко распространен расчет устойчивости откосов по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Теоретические предпосылки метода изложены в разделе 4 настоящего пособия.

Так как грунты откоса являются однородными, то для определения абсолютных координат X и Y центра O наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения, для которой коэффициент устойчивости k_y получается минимальным, используем график Янбу, представленный на рис. П.1 приложения настоящего пособия.

Определяем значение: $\lambda_{cp} = \dfrac{\gamma H \mathrm{tg}\varphi}{c} = \dfrac{19{,}4 \cdot 21 \cdot \mathrm{tg}18^{o}}{29} = 4{,}6$.

Угол наклона грунтового откоса $\alpha = \mathrm{arctg}(1/1{,}15) = 42^{o}$.

Для данных значений λ_{cp} и α по графику Янбу определяем относительные координаты x_0 и y_0 центра наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения O:

$$x_0 = -0{,}3;\ y_0 = 1{,}7.$$

Абсолютные координаты центра наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения O при этом составят:

$$X = x_0 \cdot H = -0{,}3 \cdot 21 = -6{,}3\text{м};$$

$$Y = y_0 \cdot H = 1{,}7 \cdot 21 = 35{,}7\text{м}.$$

Радиус круглоцилиндрической дуги скольжения R, а также ширину и высоту блоков допускается определять графически из расчетной схемы, выполненной в масштабе М1:100 (расчетная схема представлена на рис.7). Радиус дуги скольжения по расчетной схеме – R=37,28м.

Оползающий массив грунта вертикальными линиями разбиваем на блоки шириной по 3-4 м. Одна из вертикальных границ блоков (в данном случае между 8 и 9 блоками) должна проходить через бровку откоса. На середину основания каждого блока из точки O опускаем прямую. Направление реакции блока на основание N_i совпадает с этой прямой, а удерживающие и сдвигающие силы T_i проходят перпендикулярно ей.

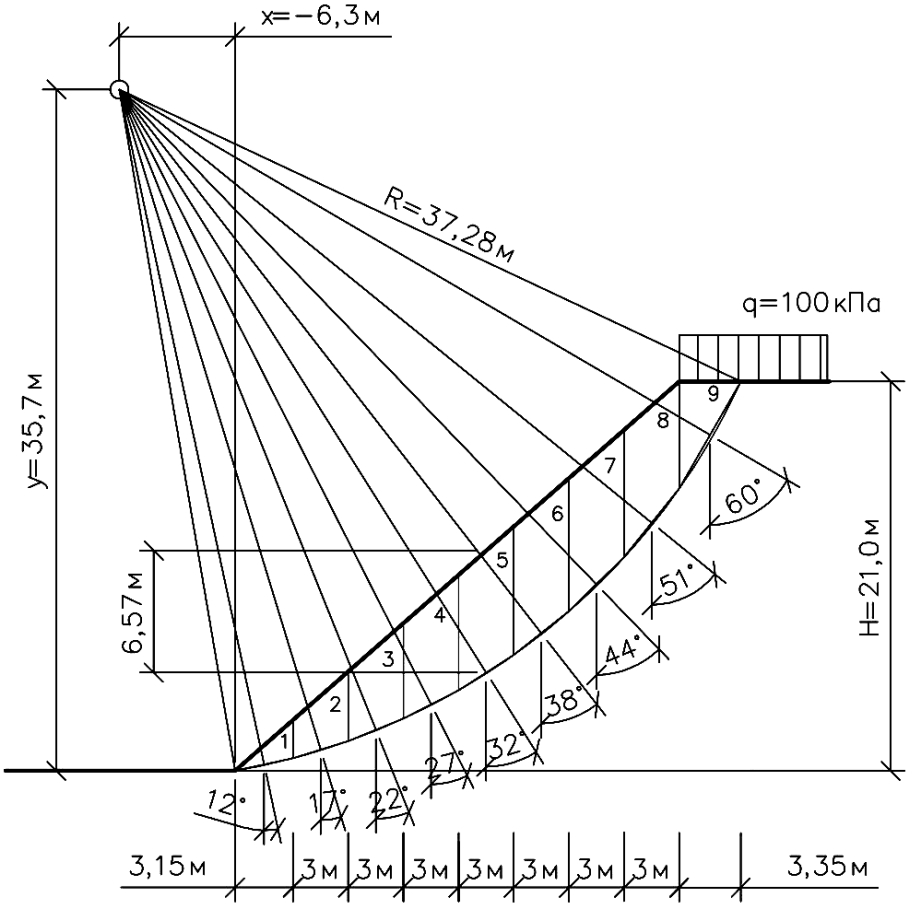


Рис.7. Схема к расчету устойчивости откоса методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения

Для расчета выделяем полосу шириной 1п.м. по длине откоса. Вес расчетного блока G_i определяется как произведение удельного веса грунта γ на объем блока V_i:

$$G_i = \gamma \cdot V_i = \gamma \cdot h_i \cdot b_i \cdot 1\text{п.м.}$$

Для удобства все расчеты ведем в табличной форме (табл. 3).

Таблица 3.

№ блока	h_i, м	b_i, м	V_i, м^3	G_i, кН	$q \cdot b_i$ кН	P_i, кН	α_i град.	$P_i \cdot \cos\alpha_i \cdot \mathrm{tg}\varphi$ кН	$P_i \cdot \sin\alpha_i$ кН	$c \cdot l_i$ кН	$T_{сдв,i}$, кН
1	*3*	*2*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*
1	1,03	3,15	3,24	62,9	0	62,9	12	20,0	13,09	93,4	-96.84
2	2,90	3,0	8,70	168,84	0	168,8	17	52,44	49,35	91,0	-85.24
3	4,44	3,0	13,33	258,4	0	258,4	22	77,85	96,80	93,8	-60.45
4	5,68	3,0	17,04	330,6	0	330,6	27	95,70	150,08	97,6	-25.18
5	6,57	3,0	19,71	382,4	0	382,4	32	105,36	202,63	102,6	12.67
6	7,50	3,0	22,51	436,5	0	436,5	38	111,76	268,74	110,4	57.87
7	7,03	3,0	21,09	409,2	0	409,2	44	95,63	284,22	120,9	69.10
8	6,32	3,0	18,97	367,8	0	367,8	51	75,21	285,85	138,2	63.55
9	2,88	3,35	9,65	187,2	335,0	522,2	60	84,83	452,21	194,3	109.15
							Σ	**718,8**	**1803,0**	**1042,3**	**44,6**

Проверяем выполнение условия

$$k_y = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(P_i \cos\alpha_i \mathrm{tg}\varphi_i + C_i l_i + P_i^* \sin\alpha_i \right)}{\sum_{i=1}^{n} P_i \sin\alpha_i} = 0{,}977 < 1{,}2.$$

Условие не выполняется, следовательно, грунтовый откос является неустойчивым. Принимаем решение запроектировать удерживающее сооружение из одного ряда буронабивных свай, объединенных поверху ленточным ростверком.

Расчет буронабивной сваи удерживающего сооружения на совмест-ное действие горизонтальной силы и момента

Для дальнейшего расчета и проектирования сооружения предварительно принимаем следующие характеристики сваи:

- диаметр сваи d = 750мм;
- класс бетона B15;
- класс арматуры A400;
- количество и диаметр арматуры 8Ø18мм;
- толщина защитного слоя арматуры a = 50мм.

Определение длины и геометрических характеристик сечения железобетонной сваи

Удерживающее сооружение из буронабивных свай для рассматриваемого случая наиболее целесообразно располагать в районе 4 - 5 блоков.

Определим глубину заделки сваи l по формуле (5.2). Для этого необхо-

димо вычислить геометрические характеристики сечения.

Модули упругости бетона и арматуры:

$$E_b = 24000\text{МПа} = 2{,}4 \cdot 10^7\ \text{кН/м}^2;$$

$$E_s = 200000\text{МПа} = 2 \cdot 10^8\ \text{кН/м}^2.$$

Коэффициент приведения арматуры к бетону:

$$\alpha_s = \frac{E_s}{E_b} = \frac{200000}{24000} = 8{,}33.$$

Момент инерции сечения бетона сваи:

$$I_b = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}75^4}{64} = 0{,}0155\text{м}^4.$$

Момент инерции арматурного каркаса:

$$I_s = A_{s1}\left(4a_1^2 + 2a_2^2\right) = 0{,}000254 \cdot \left(4 \cdot 0{,}23^2 + 2 \cdot 0{,}325^2\right) = 1{,}07 \cdot 10^{-4}\ \text{м}^4,$$

где A_{s1} – расчетная площадь стержня диаметром 18мм;

a_1, a_2 – расстояния от центра тяжести арматуры до главных осей инерции:

$$a_2 = \frac{d}{2} - a_s = \frac{0{,}75}{2} - 0{,}059 = 0{,}325\text{м}; \quad a_1 = a_2 \cdot \cos 45^\circ = 0{,}23\text{м}.$$

Момент инерции сечения сваи:

$$I = I_b + I_s\alpha_s = 1{,}55 \cdot 10^{-2} + 1{,}07^{-4} \cdot 8{,}33 = 0{,}0164\text{м}^4.$$

Расчетное значение коэффициента постели c_z, кН/м^3 грунта на боковой поверхности сваи определяем по формуле (5.1):

$$c_z = Kz,$$

где K=4000 кН/м^4 – коэффициент пропорциональности для суглинка тугопластичного, по таблице П.1. приложения настоящего пособия;

z=1м – условная глубина при предварительном определении длины сваи по формуле (5.2).

Тогда:

$$l = \frac{\pi}{2}\sqrt[4]{\frac{4EI}{c_z \cdot d}} = \frac{\pi}{2}\sqrt[4]{\frac{4 \cdot 2{,}4 \cdot 10^7 \cdot 0{,}0164}{4000 \cdot 0{,}75}} = 7{,}5\text{м}.$$

Расчеты свай по предельным состояниям двух групп выполняем с использованием значений приведенной глубины погружения сваи в грунт $\bar{l}$ и приведенной глубины расположения сечения сваи в грунте $\bar{z}$, определяемых по формулам:

$$\bar{l} = \alpha_\varepsilon l = 0{,}44 \cdot 7{,}5 = 3{,}3\text{м};$$

$$\bar{z} = \alpha_\varepsilon z = 0{,}44 \cdot 1{,}93 = 0{,}85,$$

где l и z – действительная глубина погружения сваи (ее нижнего конца) в грунт и действительная глубина расположения сечения сваи в грунте, соответственно отсчитываемые от линии скольжения;

α_ε – коэффициент деформации, определяемый по формуле (5.6):

$$\alpha_\varepsilon = \sqrt[5]{\frac{K \cdot b_p}{E\,I}} = \sqrt[5]{\frac{4000 \cdot 1{,}625}{2{,}4 \cdot 10^7 \cdot 0{,}0164}} = 0{,}44,$$

b_p – условная ширина сваи, принимаемая для буронабивных свай с диаметром стволов менее 0,8м по формуле

$$b_p = (1{,}5 \cdot d + 0{,}5) = 1{,}5 \cdot 0{,}75 + 0{,}5 = 1{,}625\text{м}.$$

Расчет перемещений сваи

Определяем горизонтальное перемещение U_0 и угол поворота ψ_0 по формулам (5.7), (5.8). При этом расчетные значения, соответственно, поперечной силы H_0 и изгибающего момента M_0 в рассматриваемом сечении сваи принимаем равными

$$H_0 = H = T_{сдв} = 44{,}6\text{кН};$$

$$M_0 = M + H \cdot l_0 = 44{,}6 \cdot 2{,}20 = 98{,}1\text{кН}\cdot\text{м};$$

где $l_0 = h/3 = 6{,}57/3 = 2{,}2$м – высота приложения равнодействующей сдвигающей нагрузки $T_{сдв}$ от уровня линии скольжения (рис. 3),

h=6,57м – высота от линии скольжения до поверхности откоса в месте устройства удерживающего сооружения (рис. 7).

Горизонтальное перемещение сечения сваи ε_{HH} от силы H_0 =1

$$\varepsilon_{HH} = \frac{1}{\alpha_\varepsilon^3 EI} A_0, = \frac{1}{0{,}44^3 \cdot 2{,}4 \cdot 10^7 \cdot 0{,}0164} \cdot 2{,}552 = 7{,}6 \cdot 10^{-5}\text{м/кН}.$$

Горизонтальное перемещение сечения ε_{HM} от момента $M_0 = 1$ и угол поворота сечения ε_{MH} от силы $H_0 = 1$

$$\varepsilon_{MH} = \varepsilon_{HM} = \frac{1}{\alpha_\varepsilon^2 EI} B_0 = \frac{1}{0{,}44^2 \cdot 2{,}4 \cdot 10^7 \cdot 0{,}0164} \cdot 1{,}667 = 2{,}18 \cdot 10^{-5}\ 1/\text{кНм}.$$

Угол поворота сечения ε_{MM} от момента $M_0 = 1$

$$\varepsilon_{MM} = \frac{1}{\alpha_\varepsilon EI} C_0 = \frac{1}{0{,}44 \cdot 2{,}4 \cdot 10^7 \cdot 0{,}0164} \cdot 1{,}770 = 1{,}02 \cdot 10^{-5}\ 1/\ \text{кНм},$$

где $A_0 = 2{,}552$; $B_0 = 1{,}667$; $C_0 = 1{,}770$ – безразмерные коэффициенты, принимаемые по таблице П.2 настоящего пособия в зависимости от приведенной глубины заложения свай в грунте.

Таким образом, горизонтальное перемещение U_0 и угол поворота ψ_0 свай составят:

$U_0 = H_0 \cdot \varepsilon_{HH} + M_0 \cdot \varepsilon_{HM} = 44{,}6 \cdot 7{,}6 \cdot 10^{-5} + 98{,}1 \cdot 2{,}18 \cdot 10^{-5} = 0{,}0056$ м;

$\psi_0 = H_0 \cdot \varepsilon_{MH} + M_0 \cdot \varepsilon_{MM} = 44{,}6 \cdot 2{,}18 \cdot 10^{-5} + 98{,}1 \cdot 1{,}02 \cdot 10^{-5} = 0{,}002$ рад.

Расчет устойчивости грунта основания, окружающего сваю

Расчет устойчивости основания, окружающего сваю, производится по условию (5.13) ограничения расчетного давления σ_z, оказываемого на грунт боковыми поверхностями свай.

Расчетное давление в грунте σ_z и предельное допускаемое давление на грунт σ_{ult} определяем на глубинах z=1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 м, отсчитываемых от уровня линии скольжения откоса.

При этом коэффициент η_2, учитывающий долю постоянной нагрузки в суммарной нагрузке, определяем исходя из соотношения между моментами от внешних постоянных расчетных нагрузок и от внешних временных расчетных нагрузок. Т.к. в исходных данных отсутствуют сведения о величине временных нагрузок, то принимаем $M_t = 0$, тогда

$$\eta_2 = \frac{M_c + M_t}{\bar{n}M_c + M_t} = \frac{1+0}{2{,}5\cdot 1+0} = 0{,}4.$$

Расчетное давление σ_z на грунт по контакту с боковой поверхностью сваи, возникающее на глубине z, определяем по формуле (5.12).

Тогда, к примеру, для глубины z=1м:

$$\sigma_z = 4000\cdot 1\cdot\left(0{,}0056\cdot 1{,}0 - \frac{0{,}002}{0{,}44}\cdot 0{,}440 + \frac{98{,}1}{0{,}44^2\cdot 2{,}4\cdot 10^7\cdot 0{,}0164}\cdot 0{,}098 + \right.$$

$$\left. + \frac{44{,}6}{0{,}44^3\cdot 2{,}4\cdot 10^7\cdot 0{,}0164}\cdot 0{,}015\right) = 19{,}95\text{кПа},$$

$$\sigma_{ult} = 1\cdot 0{,}4\cdot\frac{4}{\cos 18^o}\left[19{,}4\cdot(1+6{,}6)\operatorname{tg}18^o + 0{,}3\cdot 29\right] = 95{,}23\text{кПа}.$$

Для удобства все дальнейшие расчеты проверки устойчивости грунта основания, окружающего сваю, приведем в табличной форме (табл. 4).

Таблица 4

z, м	$\bar{z}$	A_1	B_1	C_1	D_1	σ_z, кПа	σ_{ult}, кПа
1	0,440	1,000	0,440	0,098	0,015	19,95	95,23
2	0,880	0,995	0,879	0,388	0,114	22,38	105,84
3	1,320	0,966	1,305	0,868	0,383	10,0	116,44
4	1,760	0,859	1,677	1,519	0,902	-17,54	127,04
5	2,200	0,575	1,887	2,272	1,720	-63,92	137,65

Как видно из таблицы, максимальные значения давления в грунте σ_z возникают на глубине z = 2м. Проверяем условие (5.13)

$$\sigma_z = 22{,}38\text{кПа} < \sigma_{ult} = 105{,}84\text{кПа}.$$

Условие выполняется, следовательно, устойчивость грунта основания, окружающего сваю, обеспечена.

Проверка сечений сваи по прочности на изгиб

Расчетный изгибающий момент M_z, действующий в сечении сваи на глубинах z=1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 м, отсчитываемых от уровня линии скольжения откоса, определяем по формуле (5.16). Тогда, к примеру, для глубины z=1м:

$$M_z = 0{,}44^2 \cdot 2{,}4 \cdot 10^7 \cdot 0{,}0164 \cdot 0{,}0056 \cdot (-0{,}015) -$$

$$- 0{,}44 \cdot 2{,}4 \cdot 10^7 \cdot 0{,}0164 \cdot 0{,}002 \cdot 0{,}001 + 98{,}1 \cdot 1 + \frac{44{,}6}{0{,}44} \cdot 0{,}44 = 136{,}6\text{кНм}.$$

Для удобства все дальнейшие расчеты определения изгибающих моментов в сечениях сваи приведем в табличной форме (табл. 5).

Таблица 5

z, м	$\bar{z}$	A_3	B_3	C_3	D_3	M_z, кН·м
1	0.440	-0.015	0.001	1.000	0.440	136,6
2	0.880	-0.114	-0.051	0.986	0.877	154,5
3	1.320	-0.383	-0.254	0.899	1.290	142,8
4	1.760	-0.897	-0.797	0.576	1.594	109,6
5	2.200	-1.693	-1.906	-0.271	1.575	120,3

Определяем несущую способность сваи на изгиб по формуле (5.17):

$M_p = R_s A_s (0{,}8h_0 - a_s) = 355000 \cdot 10{,}18 \cdot 10^{-4} \cdot (0{,}8 \cdot 0{,}691 - 0{,}059) = 184{,}3$кН·м,

где R_s=355000кПа – расчетное сопротивление арматуры класса А400 растяжению;

A_s= 10,18 см^2 – суммарная площадь поперечного сечения 4-х стержней продольной рабочей арматуры;

a_s=50+18/2=59мм – расстояние от края сваи до оси арматуры;

h_0= 750 – 59 = 691мм – рабочая высота сечения сваи.

Как видно из табл. 5, максимальные значения изгибающих моментов M_z возникают на глубине z = 2м. Проверяем выполнение условия (5.15)

$$M_z = 154{,}5\text{кН·м} < M_p = 184{,}3\text{кН·м}.$$

Условие выполняется, следовательно, несущая способность сечения сваи на изгиб обеспечена. Принятой рабочей арматуры 8Ø18 А400 достаточно для восприятия изгибающего момента.

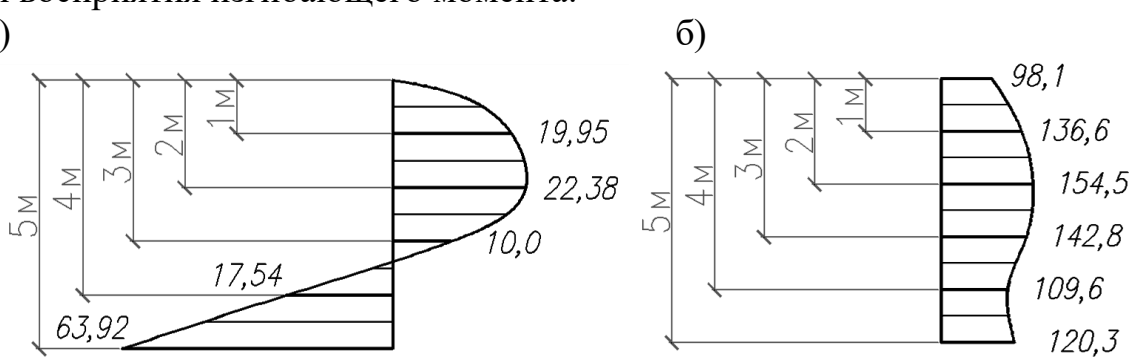


Рис. 8. Эпюры распределения расчетного давления σ_z, кПа (а), и изгибающего момента M_z, кН·м (б), по длине сваи

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М.И. Горбунов-Посадов, В.И. Крутов и др.; Под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. - М.: Стройиздат, 1985. - 480 с. (Справочник проектировщика).
2. Основания и фундаменты: Справочник/ Г.И. Швецов, И.В. Носков, А.Д. Госькова; Под ред. Г.И. Швецов. - М.: Высш. шк., 1991.-383 с.
3. Ухов С.Б. и др. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учеб. пособие для строит. спец. вузов/ С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский/. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 2002. - 566с.: ил.
4. Цытович Н.А. Механика грунтов: Учебник для строит. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1983. – 288 с.
5. СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. Минстрой России. – М.:НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 2016. – 225с.
6. СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов. Москва, Госстрой России, 2004. – 82 с.
7. СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. Минрегион России. – М.:НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 2011. – 90 с.
8. Мирсаяпов И.Т. Методические указания к выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Проектирование оснований, фундаментов и подземных сооружений в проблемных грунтах и сложных инженерно-геологических условиях» по направлению 270100 для специальности 270102 «Теория и проектирование оснований, фундаментов и подземных сооружений». Казань: КГАСУ, 2007. – 18с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Коэффициенты пропорциональности для грунтов

Грунты, окружающие сваю, и их характеристики	Коэффициент пропорциональности K, кН/м ^{4}, для свай	
	забивных	буронабивных
Глины и суглинки текучепластичные $(0,75 < I_L \le 1)$	650-2500	500-2000
Глины и суглинки мягкопластичные $(0,5 < I_L \le 0,75)$; супеси пластичные $(0 \le I_L \le 1)$; пески пылеватые $(0,6 \le e \le 0,8)$	2500-5000	2000-4000
Глины и суглинки тугопластичные и полутвердые $(0 \le I_L \le 0,5)$; супеси твердые $(I_L < 0)$; пески мелкие $(0,6 \le e \le 0,75)$; пески средней крупности $(0,55 \le e \le 0,7)$	5000-8000	4000-6000
Глины и суглинки твердые $(I_L < 0)$; пески крупные $(0,55 \le e \le 0,7)$	8000-13000	6000-10000
Пески гравелистые $(0,55 \le e \le 0,7)$; гравий и галька с песчаным заполнителем	-	10000-20000

Таблица П.2

$\bar{l}$	Опирание сваи на дисперсный грунт		
	A_0	B_0	C_0
0,5	72,004	192,026	576,243
0,6	50,007	111,149	278,069
0,7	36,745	70,023	150,278
0,8	28,14	46,943	88,279
0,9	22,244	33,008	55,307
1,0	18,03	24,106	36,486
1,1	14,916	18,16	25,123
1,2	12,552	14,041	17,944
1,3	10,717	11,103	13,235
1,4	9,266	8,954	10,05
1,5	8,101	7,349	7,838
1,6	7,154	6,129	6,268
1,7	6,375	5,189	5,133
1,8	5,73	4,456	4,299
1,9	5,19	3,878	3,679
2,0	4,737	3,418	3,213
2,2	4,032	2,756	2,591
2,4	3,526	2,327	2,227
2,6	3,163	2,048	2,013
2,8	2,905	1,869	1,889
3,0	2,727	1,758	1,818
3,5	2,502	1,641	1,757
≥4	2,441	1,621	1,751

Таблица П.3

Приведенная глубина расположения сечения сваи в грунте $\bar{z}$	Коэффициенты							
	A_1	B_1	C_1	D_1	A_3	B_3	C_3	D_3
0	1	0	0	0	0	0	1	0
0,1	1	0,1	0,005	0	0	0	1	0,1
0,2	1	0,2	0,02	0,001	-0,001	0	1	0,2
0,3	1	0,3	0,045	0,005	-0,005	-0,001	1	0,3
0,4	1	0,4	0,08	0,011	-0,011	-0,002	1	0,4
0,5	1	0,5	0,125	0,021	-0,021	-0,005	0,999	0,5
0,6	0,999	0,6	0,18	0,036	-0,036	-0,011	0,998	0,6
0,7	0,999	0,7	0,245	0,057	-0,057	-0,02	0,996	0,699
0,8	0,997	0,799	0,32	0,085	-0,085	-0,034	0,992	0,799
0,9	0,995	0,899	0,405	0,121	-0,121	-0,055	0,985	0,897
1	0,992	0,997	0,499	0,167	-0,167	-0,083	0,975	0,994
1,1	0,987	1,095	0,604	0,222	-0,222	-0,122	0,96	1,09
1,2	0,979	1,192	0,718	0,288	-0,287	-0,173	0,938	1,183
1,3	0,969	1,287	0,841	0,365	-0,365	-0,238	0,907	1,273
1,4	0,955	1,379	0,974	0,456	-0,455	-0,319	0,866	1,358
1,5	0,937	1,468	1,115	0,56	-0,559	-0,42	0,811	1,437
1,6	0,913	1,553	1,264	0,678	-0,676	-0,543	0,739	1,507
1,7	0,882	1,633	1,421	0,812	-0,808	-0,691	0,646	1,566
1,8	0,843	1,706	1,584	0,961	-0,956	-0,867	0,53	1,612
1,9	0,795	1,77	1,752	1,126	-1,118	-1,074	0,385	1,64
2	0,735	1,823	1,924	1,308	-1,295	-1,314	0,207	1,646
2,2	0,575	1,887	2,272	1,72	-1,693	-1,906	-0,271	1,575
2,4	0,347	1,874	2,609	2,195	-2,141	-2,663	-0,949	1,352
2,6	0,033	1,755	2,907	2,724	-2,621	-3,6	-1,877	0,917
2,8	-0,385	1,49	3,128	3,288	-3,103	-4,718	-3,108	0,197
3	-0,928	1,037	3,225	3,858	-3,541	-6	-4,688	-0,891
3,5	-2,928	-1,272	2,463	4,980	-3,919	-9,544	-10,34	-5,854
4	-5,853	-5,941	-0,927	4,548	-1,614	-11,731	-17,919	-15,076

Таблица П.4

Расчетные сопротивления и модуль упругости бетона, МПа

Класс бетона	B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40
R_b	7,5	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0
R_{bt}	0,66	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30	1,40
E_b	21500	24000	27500	30000	32500	34500	36000

Таблица П.5

Сортамент стержневой арматуры

Диаметр, мм	Расчетные площади поперечного сечения, см^2, при числе стержней								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	0,283	0,57	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54
8	0,503	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,53
10	0,785	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07
12	1,131	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18
14	1,539	3,08	4,62	6,16	7,69	9,23	10,77	12,31	13,85
16	2,011	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10
18	2,545	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90
20	3,142	6,28	9,42	12,56	15,71	18,85	21,99	25,13	28,28
22	3,801	7,60	11,40	15,20	19,00	22,81	26,61	30,41	34,21
25	4,909	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18
28	6,158	12,32	18,47	24,63	30,79	36,85	43,10	49,26	55,42
32	8,042	16,09	24,13	32,17	40,21	48,26	56,30	64,34	72,38
36	10,18	20,36	30,54	40,72	50,89	61,07	71,25	81,43	91,61
40	12,57	25,13	37,70	50,27	62,83	75,40	87,96	100,53	113,1

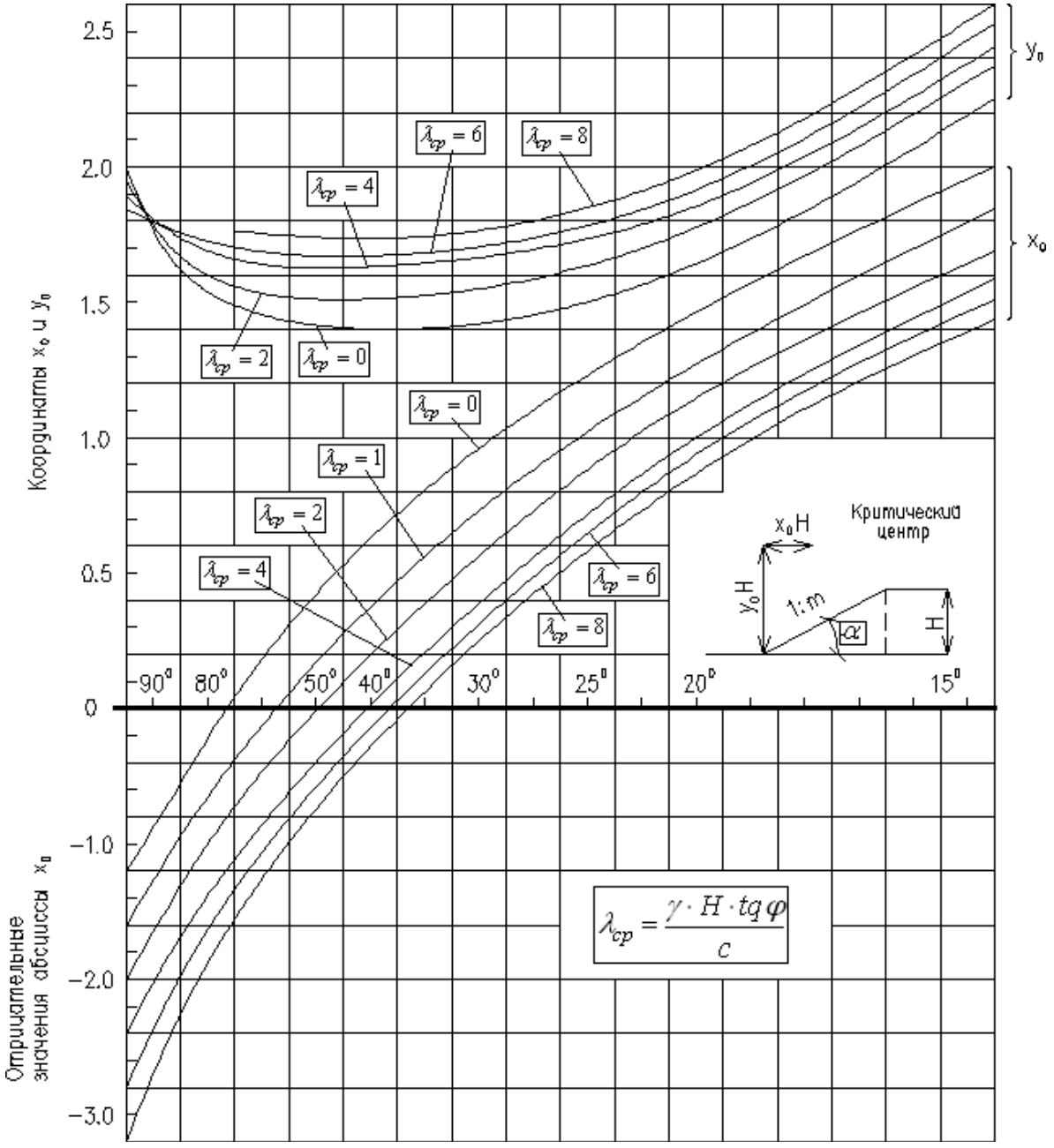


Рис. П.1. График Янбу для определения координат *X* и *Y* центра *O*, наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения с минимальным коэффициентом устойчивости K_y:
H – высота откоса; x_0, y_0 – безразмерные величины, устанавливаемые по графику в зависимости от угла откоса α и λ_{cp}

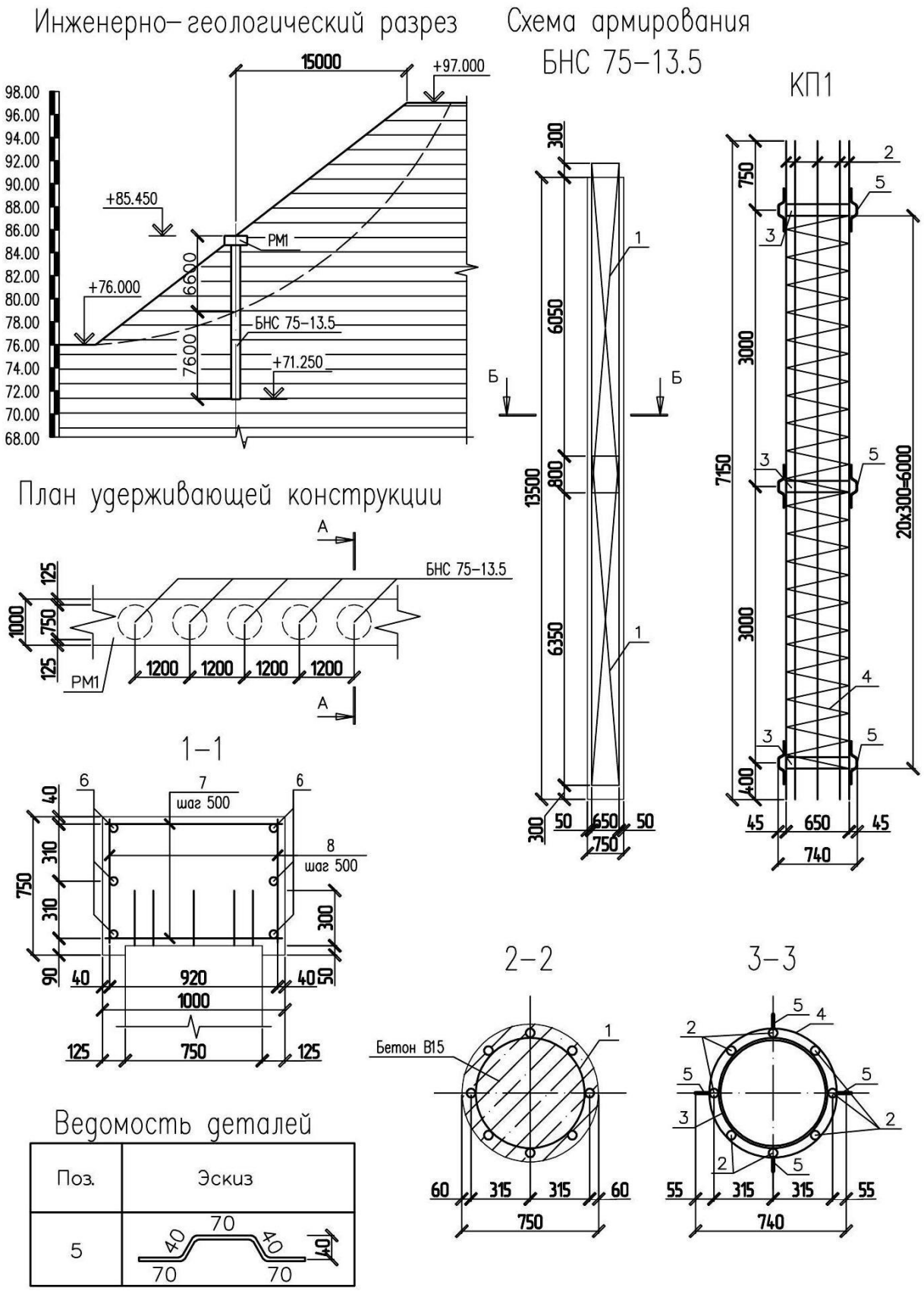


Рис. П.2. Пример оформления графической части курсовой работы

Учебное издание

Антоненко Надежда Александровна

Расчет и конструирование сооружения, удерживающего грунтовый откос

Методические указания по выполнению курсового проекта
по дисциплине
«Проектирование оснований, подпорных стен и ограждений котлованов»

Подписано в печать_____Тираж_____экз.
Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета
390000г.Рязань, ул. Право-Лыбедская, 26/53