

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Оренбургский государственный университет»
Кафедра строительных конструкций

С. Б. КОЛОКОЛОВ

УСТОЙЧИВОСТЬ ОГРАЖДЕНИЯ СТЕНКИ КОТЛОВАНА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2005

УДК624.134 (076.5)
ББК 38.58я73
К 61

Рецензент
кандидат технических наук, доцент В.П.Перов

К 61 **Колоколов С.Б.**
Устойчивость ограждения стенки котлована: [Текст];
методические указания к выполнению расчетно-
графической работы / С.Б.Колоколов - Оренбург : ГОУ
ОГУ, 2005 – 21 с.

Методические указания предназначены для использования при выполнении расчетно-графической работы по дисциплине «Заглубленные сооружения в промышленном и гражданском строительстве» студентами специальности 29.03.00 - Промышленное и гражданское строительство всех форм обучения.

ББК 38.58я73

К

© Колоколов С.Б., 2005
© ГОУ ОГУ, 2005

Введение

При отрывке котлована для возведения подземной части заглубленного сооружения важным вопросом является обеспечение устойчивости стенок грунтового обнажения. Если грунт по своим механическим свойствам не может сохранять равновесное состояние при обнажении, то произойдет обрушение стенок, т.е. аварийная ситуация. Ещё более опасной становится ситуация, когда вблизи котлована расположены какие-либо здания и сооружения. Во избежание подобных явлений стенки котлована делают наклонными, если позволяют условия строительства, либо укрепляют с помощью специального ограждения. Ограждение это испытывает давление со стороны грунта, и его устойчивость обеспечивается разными способами: с помощью распорок, анкеров или же заглублением в грунт ниже дна котлована.

В последнем случае равновесие ограждения обеспечивается пассивным отпором грунта, расположенного ниже дна котлована. Ограждение представляет собой вертикальные элементы (шпунтины, сваи), забиваемые в грунт на определенную глубину. Эти элементы могут забиваться без зазора между ними и таким образом образуется шпунтовая стенка, либо между элементами остается зазор, в который укладываются деревянные или какие-либо другие элементы (забирка, затяжка), опирающиеся на несущие элементы (шпунтины, сваи). Для безопасного ведения работ по отрывке котлована и последующего возведения подземной части сооружения надо знать, на какую глубину следует забить шпунт, чтобы обеспечить его устойчивость без дополнительных мероприятий, а также знать геометрические характеристики поперечного сечения несущих элементов, обеспечивающие его прочность в течение всего срока службы ограждения. Определяющими факторами при решении этой задачи являются прочностные характеристики грунта – угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c , глубина котлована, а также нагрузки, действующие на поверхности грунта в непосредственной близости от котлована. Расчетно-графическая работа посвящена решению этой задачи.

1 Исходные данные

Исходные данные для выполнения работы формируются на основании таблиц 1, 2 и 3. В соответствии с первыми двумя цифрами варианта, назначенного преподавателем, нужно выписать данные из строки таблицы 1. Геологическая колонка грунта, в котором расположен котлован, для того или иного варианта составляется из слоев грунта с номерами Γ_1 , Γ_2 , Γ_3 и Γ_4 , расположенных в последовательности сверху вниз, начиная от поверхности. Остальные данные в соответствии с вторыми двумя цифрами варианта приведены в таблице 2. Мощность (толщина) в м слоя каждого из грунтов указана в той же последовательности: m_1 – мощность слоя Γ_1 , m_2 – мощность слоя Γ_2 и т.д. В каждом варианте на поверхности действует полосовая распределенная нагрузка с интенсивностью q в кПа. Полоса нагрузки шириной b в м смещена от края котлована на расстояние a (в м). Глубина котлована y_0 в м приведена в последней колонке таблицы 2. Следует заметить, что грунтовые условия в вариантах имеют случайный характер и поэтому возможно участие в расчетах разного количества слоев грунтов. В частности, котлован может быть расположен полностью в одном слое грунта, а может пересекать и все четыре слоя.

В таблице 3 приведены физико-механические характеристики грунтов в соответствии с их номерами: удельный вес грунта γ в кН/м³, угол внутреннего трения φ в градусах, удельное сцепление c в кПа.

Расчетная схема задачи приведена на рисунке 1. Такая схема, выполненная в масштабе в соответствии с исходными данными задания, должна быть представлена в расчетно-графической работе.

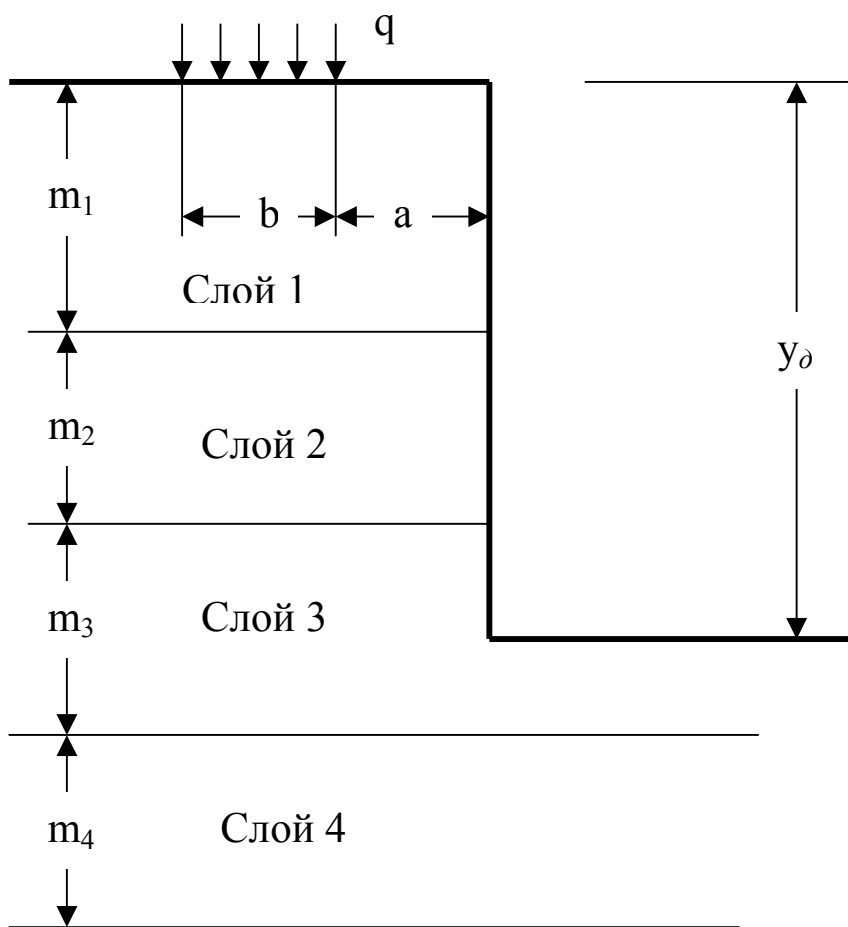


Рисунок 1 – Расчетная схема

2 Расчетные точки на эпюре давления

Давление на ограждение складывается из активного давления от веса грунта и из давления, вызванного нагрузкой на поверхности грунта (это давление действует только на ограниченной части ограждения). Кроме того, в заглубленной части (ниже дна котлована) ограждение испытывает пассивное давление грунта, направленное в сторону, обратную активному давлению. Поскольку распределение давления по высоте ограждения имеет кусочно-линейный характер, то эпюра давления имеет в некоторых точках изломы и скачки, сохраняя линейность между этими точками. Это, во-первых, точки пересечения ограждения с границами слоев. Учитывая, что в задании на расчетно-графическую работу присутствуют четыре слоя, таких точек может быть не более трех. Координаты этих точек (глубина расположения от поверхности) можно обозначить Y_i (i – номер слоя, расположенного сверху; нумерация слоев здесь и далее в порядке следования, начиная сверху). Во-вторых, это уровень дна котлована (Y_0), и самая нижняя точка эпюры давлений – условно неподвижная точка шпунта (Y_0). В-третьих, это точки, обозначающие границы воздействия на ограждение нагрузки на поверхности: верхняя с координатой Y_a и нижняя с координатой Y_6 (последняя в случае, если $Y_6 > Y_0$ на эпюре отсутствует). Наконец, в четвертых, это нулевые точки эпюры: на поверхности, а также между границами слоев в случае, если верхняя часть слоя окажется устойчивой. На рисунке 2 приведен пример совмещенной эпюры давления (слева – активное давление, справа – пассивное давление) на ограждение с указанием координат расчетных точек. Заметим, что положение расчетных точек: с координатами Y_0 Y_a Y_6 , а также нулевых точек между границами слоев заранее, до выполнения расчетов, неизвестны.

3 Активное давление грунта на ограждение

Вначале надо найти вертикальное давление на уровне границ между слоями, суммируя вес слоев, расположенных выше границы, по формуле

$$P_i = \sum_{j=1}^i \gamma_j m_j, \quad (1)$$

где P_i - давление на границе между слоем с номером i (он сверху) и слоем с номером $i+1$ (он снизу от границы),

j - номера слоев, расположенных выше слоя с номером $i+1$,

γ_j - удельный вес грунта в слое с номером j ,

m_j - мощность (толщина) слоя грунта с номером j .

Вертикальное давление грунта в нижней расчетной точке шпунта (условно неподвижная точка на глубине Y_o)

$$P_o = \sum_{j=1}^z \gamma_j m_j - \gamma_z (Y_z - Y_o), \quad (2)$$

где z - номер слоя грунта, в котором находится условно неподвижная точка,

Y_z - координата нижней границы этого слоя

$$Y_z = \sum_{j=1}^z m_j, \quad (3)$$

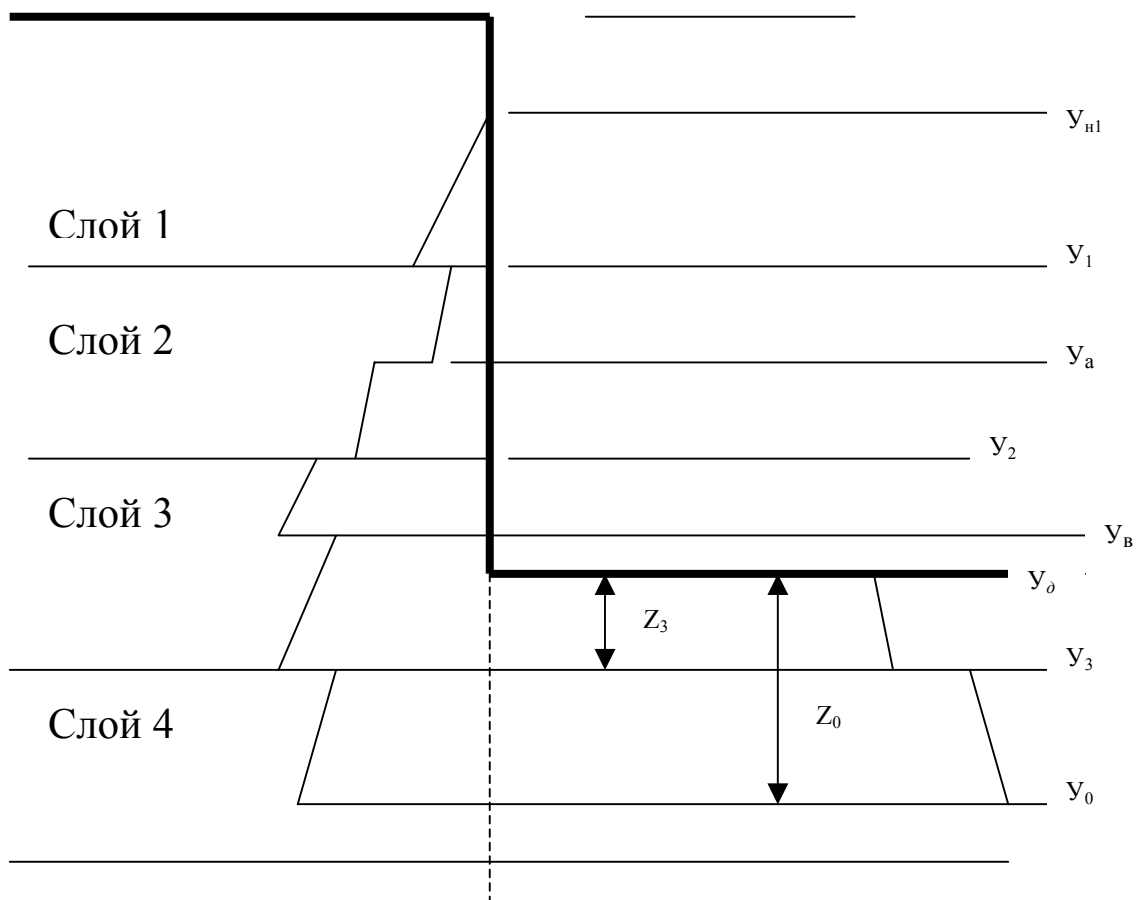


Рисунок 2 – Пример совмещенной эпюры давления

Величина Y_0 находится по формуле

$$Y_0 = Y_\delta + 0,8 h_3, \quad (4)$$

где Y_δ – глубина котлована,

h_3 – глубина заделки шпунта ниже дна котлована.

Глубина заделки шпунта h_3 подлежит определению методом последовательных приближений и на первом этапе должна быть задана ориентировочно. Рекомендуется задать её равной $0,5Y_\delta$. После проверки устойчивости ограждения величина h_3 должна быть уточнена.

Вертикальное давление на уровне дна котлована

$$P_\delta = \sum_{j=1}^z \gamma_j m_j - \gamma_z (Y_z - Y_\delta), \quad (5)$$

где z – номер грунта, в котором находится дно котлована,

Y_z – координата нижней границы этого слоя,

Y_0 - координата дна (глубина) котлована.

Активное давление на границе слоев имеет два значения: верхнее и нижнее. Верхнее значение вычисляется через характеристики расположенного сверху слоя, нижнее – через характеристики расположенного снизу. Обозначим $q_{i,i+1}$ – давление верхнее (первый индекс- номер верхнего слоя, второй – нижнего), $q_{i+1,i}$ – давление нижнее (индексы меняются местами).

Активное давление в рамках курсовой работы определяется по упрощенной методике, без учета трения на поверхности ограждения. Активное давление, приходящееся на единицу поверхности ограждения на границе слоев с номерами i и $i+1$: верхнее

$$q_{i,i+1} = P_i \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_i / 2) - 2c_i \operatorname{tg}(45^\circ - \varphi_i / 2), \quad (6)$$

нижнее

$$q_{i+1,i} = P_{i+1} \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_{i+1} / 2) - 2c_{i+1} \operatorname{tg}(45^\circ - \varphi_{i+1} / 2), \quad (7)$$

где φ_i c_i - угол внутреннего трения и сцепления в слое i , φ_{i+1} , c_{i+1} – в слое $i+1$.

Активное давление на уровне дна котлована

$$q_0 = P_0 \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_0 / 2) - 2c_0 + \operatorname{tg}(45^\circ - \varphi_0 / 2), \quad (8)$$

где φ_0 и c_0 – угол внутреннего трения и удельное сцепление слоя, в котором находится дно котлована, на уровне Y_0

$$q_0 = P_0 \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_0 / 2) - 2c_0 + \operatorname{tg}(45^\circ - \varphi_0 / 2), \quad (9)$$

где φ_0 и c_0 – угол внутреннего трения и удельное сцепление слоя, в котором находится неподвижная точка шпунта.

Активное давление, рассчитанное по формулам, может оказаться отрицательным. Это означает, что сцепление грунта удерживает его в равновесном состоянии, и в действительности давление на ограждение отсутствует. Поэтому в указанном случае давление нужно принять равным нулю: активное давление либо положительно, либо равно нулю.

После определения активного давления во всех расчетных точках нужно рассмотреть влияние нагрузки на поверхности.

4 Учет влияния нагрузки на поверхности грунта

Нагрузка, расположенная вблизи котлована, на поверхности грунта, оказывает давление на ограждение. Величина давления зависит от угла внутреннего трения грунта на уровне передачи нагрузки на ограждение, от интенсивности и ширины полосы действия нагрузки на поверхности. Если грунт на всей глубине ограждения однородный, то схема определения давления проста (рисунок 3). Вначале определяется верхняя граница участка давления (A_1), для этого из точки A проводится прямая под углом $\theta=45^\circ + \varphi / 2$ к горизонту: A_1 есть точка пересечения этой прямой с ограждением. На глубине Y_{A1} интенсивность вертикального давления от нагрузки P_o уменьшается, она равна P_v , определяемой по формуле:

$$P_v = P_o \frac{b}{b + 2a}, \quad (10)$$

Координата точки A_1

$$Y_{A1} = a \operatorname{tg} \theta \quad (11)$$

Для определения нижней точки передачи давления (B_2) нужно вначале найти точку B_1 , находящуюся на пересечении прямой, проведенной из B под углом θ к горизонту (но в сторону от ограждения) и линией уровня точки A_1 . Из точки B_1 надо провести прямую, параллельную AA_1 (т.е. под углом θ , но в сторону ограждения) до пересечения с ограждением. Воздействие нагрузки P_o будет передаваться на участке между точками A_1 и B_2 с интенсивностью

$$q^p = P_v \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi / 2). \quad (12)$$

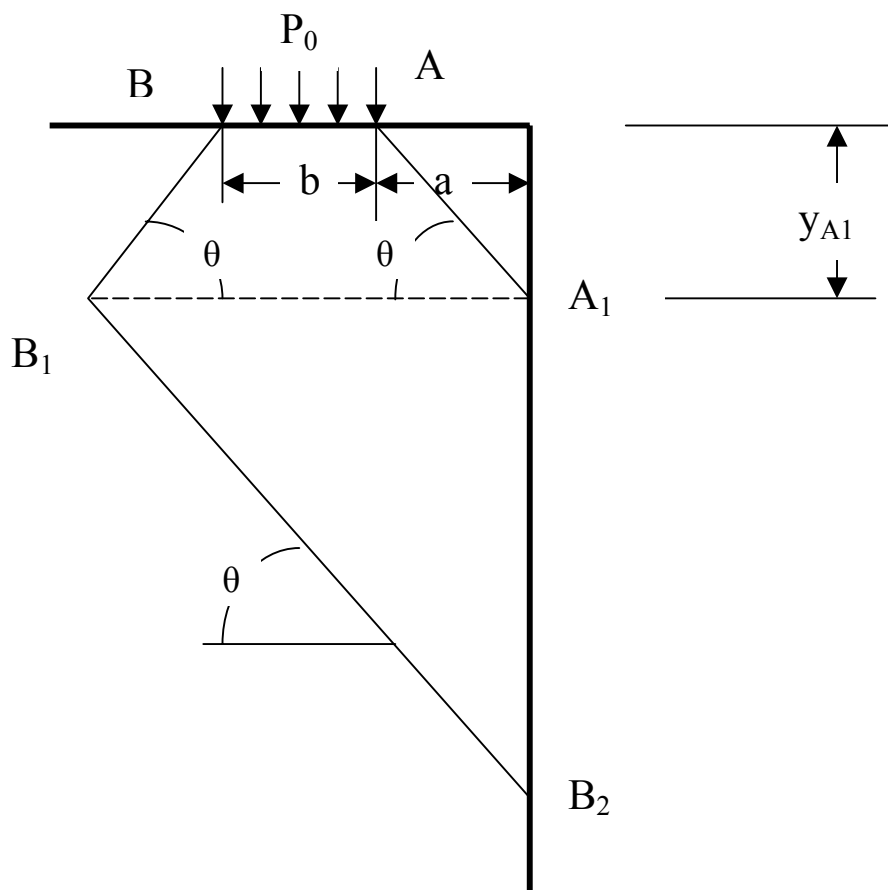


Рисунок 3 – Схема к определению давления от нагрузки на поверхности однородного грунта

Сложнее определить воздействие нагрузки, если грунт состоит из нескольких слоев с разными свойствами. В таком случае удобнее определять границы влияния нагрузки графически. На рисунке 4 показана схема построения границ влияния (точки A_2 и B_4), когда участвуют четыре слоя грунта.

Величина P_v и в этом случае находится по формуле (10).

Построение аналогично показанному на рисунке 1, только прямые при пересечении границ слоев изменяют свой наклон ввиду изменения угла внутреннего трения: в первом слое угол $\theta_1 = 45^\circ + \varphi_1 / 2$, во втором $\theta_2 = 45^\circ + \varphi_2 / 2$ и т.д.

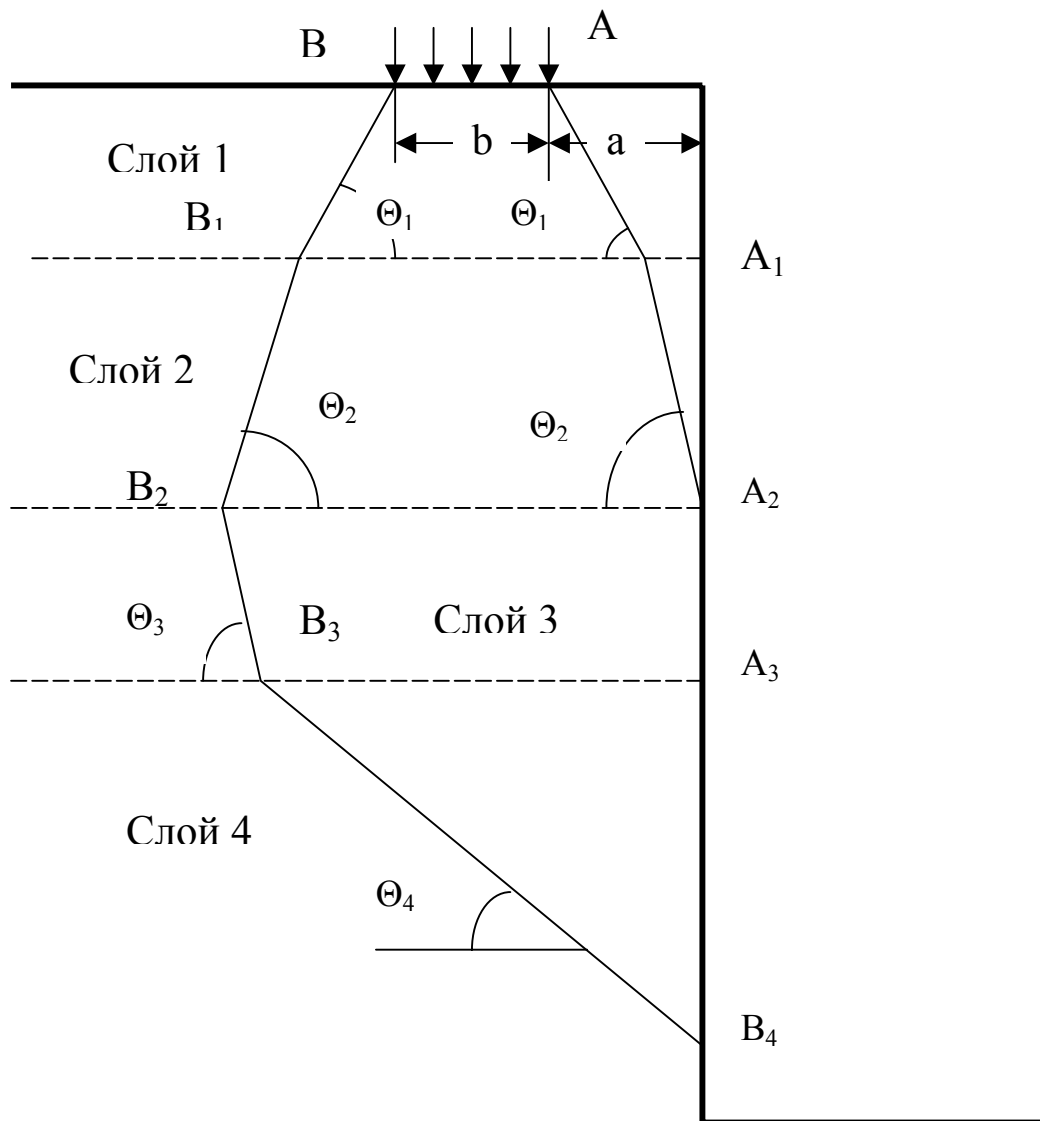


Рисунок 4 – Схема к определению давления от нагрузки на поверхности неоднородного грунта

Интенсивность давления на ограждение на участке между точками A_2 и A_3 (слой 2)

$$q^p = P_v \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_3/2), \quad (13)$$

между точками A_3 и B_4

$$q^p = P_v \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi_4 / 2), \quad (14)$$

Если нижняя граница воздействия окажется глубже, чем заделано ограждение, то это означает, что нагрузка передается на всю часть ограждения, находящуюся ниже верхней границы воздействия.

5 Пассивное давление грунта на ограждение

Пассивное давление (отпор грунта) действует на ограждение в направлении, обратном активному давлению, и создается грунтом, находящимся ниже дна котлована. На уровне дна котлована пассивное давление равно

$$q_{\partial}^n = 2c_i \operatorname{tg}(45^{\circ} + \varphi_i / 2), \quad (15)$$

где i - номер слоя, в котором находится дно котлована,

c_i, φ_i - удельное сцепление и угол внутреннего трения грунта в этом слое.

Здесь, как видно, давление зависит только от удельного сцепления. Ниже дна котлована начинает проявляться влияние веса грунта.

На уровне неподвижной точки (координата Y_o) пассивное давление

$$q_o^n = \gamma_i (Y_o - Y_{\partial}) \cdot \operatorname{tg}^2(45^{\circ} + \varphi_i / 2) + 2c_i \cdot \operatorname{tg}(45^{\circ} + \varphi_i / 2), \quad (16)$$

в том случае, если и дно котлована и неподвижная точка находятся в одном слое (номер i).

В случае, если между уровнями дна котлована и неподвижной точки находится одна граница раздела слоев, то давление определяется по формуле

$$q_o^n = (\gamma_{i-1} (Y_{i-1} - Y_{\partial}) + \gamma_i (Y_o - Y_{i-1})) + \operatorname{tg}^2(45^{\circ} + \varphi_i / 2) + 2c_i \operatorname{tg}(45^{\circ} + \varphi_i / 2), \quad (17)$$

где i - номер слоя, в котором расположена неподвижная точка,

$i-1$ - номер слоя, в котором расположено дно котлована.

Если же между уровнем дна котлована и неподвижной точкой расположены две или более границы слоев, то формула для определения давления имеет вид

$$q_o^n = (\gamma_{i-k+1} (Y_{i-k+1} - Y_{\partial}) + \gamma_i (Y_o - Y_{i-1})) + \sum_{j=1}^{k-1} \gamma_{i-j} m_{i-j} \operatorname{tg}^2(45^{\circ} + \varphi_i / 2) + 2c_i \operatorname{tg}(45^{\circ} + \varphi_i / 2), \quad (18)$$

где k - количество границ в промежутке глубин от Y_{∂} до Y_o

6 Эпюра давления на ограждение

После определения активного и пассивного давления в расчетных точках и давления, передаваемого на ограждение нагрузкой, действующей на поверхности грунта, нужно построить суммарную эпюру давлений, суммируя активное (с учетом нагрузки на поверхности грунта) и пассивное давление ниже дна котлована и принимая пассивное давление отрицательным. В нижней части эпюра давлений переходит в отрицательную область. Эпюра давлений должна быть построена в удобном для представления в пояснительной записке масштабе.

7 Оценка устойчивости ограждения

С помощью эпюры нетрудно найти опрокидывающий и удерживающий моменты, действующие на ограждение. Эту работу лучше всего выполнить в табличной форме. Ординатами эпюры являются интенсивности давления, т.е. давления, приходящиеся на единицу высоты ограждения (расчет ограждения производится на единицу длины стенки котлована). Площадь участка эпюры некоторой высоты ΔU имеет определенный физический смысл: это равнодействующая давления на этом участке. Зная величину равнодействующей и точку её приложения можно найти ее момент относительно условно неподвижной точки ограждения.

Эпюру давлений на каждом прямолинейном участке нужно разбить вертикальными линиями на части простейшей геометрической формы: прямоугольники и треугольники. Эти части следует пронумеровать, двигаясь по эпюре сверху вниз (пример см. на рисунке 5). Затем надо вычислить величины равнодействующих (площади соответствующих треугольников или прямоугольников) и записать их в таблицу в первой колонке. Равнодействующие пассивного давления, направленные в сторону, обратную активному давлению имеют знак минус. В следующую колонку нужно записать значение плеч равнодействующих относительно условно неподвижной точки (равнодействующие приложены на уровне центра тяжести соответствующей фигуры).

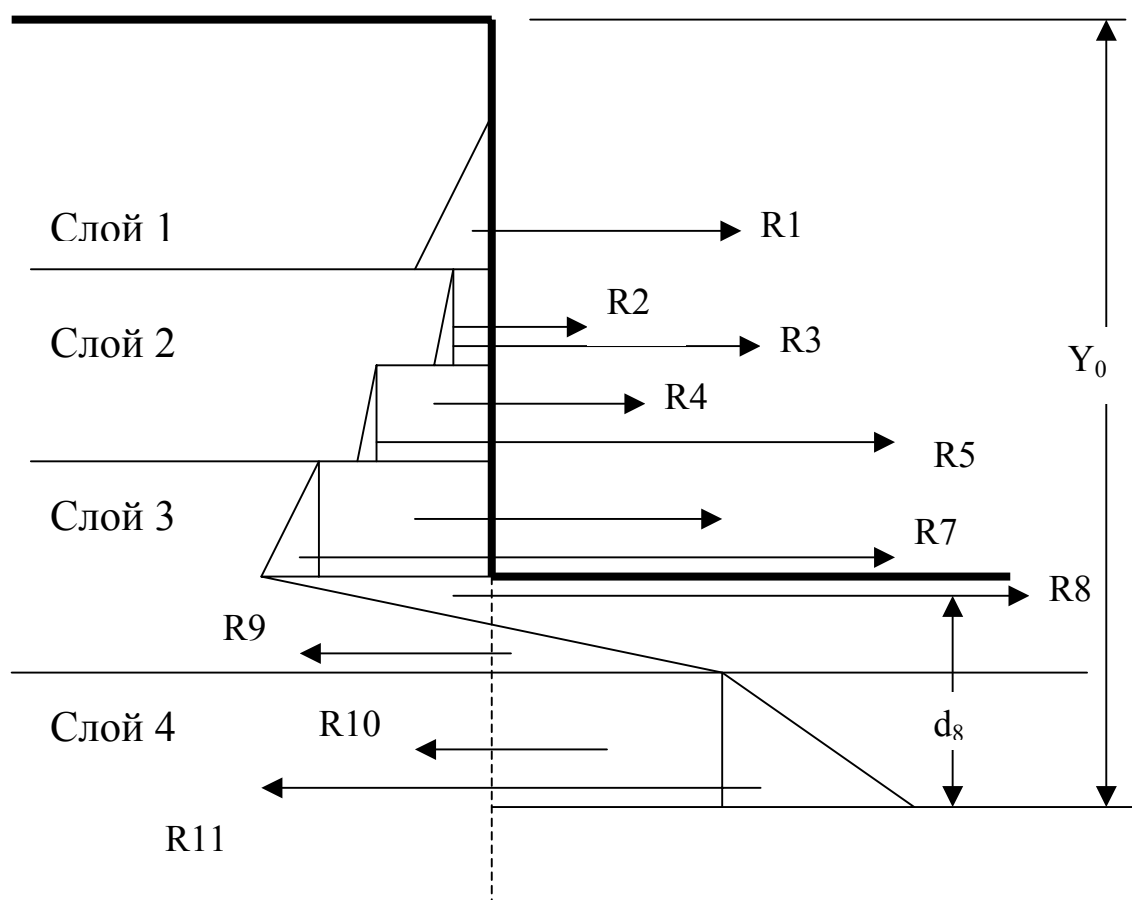


Рисунок 5 – К определению равнодействующих

В третью и четвертую колонку записываются значения моментов

$$M_i = R_i r_i, \quad (19)$$

где r_i – плечо равнодействующей R_i .

Моменты со знаком плюс – опрокидывающие ограждение моменты – записываются в третью колонку, а в четвертую – со знаком минус – удерживающие. Величины моментов в каждой из этих колонок суммируются: получаем суммарный опрокидывающий момент M_{on} и суммарный удерживающий момент $M_{уд}$. Для обеспечения устойчивости ограждения

$$M_{уд} \geq k_3 M_{on}, \quad (20)$$

где k_3 – коэффициент запаса, который принимается равным 1,2.

Если неравенство (20) не выполняется, то это означает, что принятое заглубление ограждения – недостаточное, и необходимо произвести уточняющий расчет. Уточняющий расчет необходим также и в том случае, если

$$M_{y0} > 1,2 M_{on} , \quad (21)$$

Для осуществления уточняющего расчета нужно назначить новую глубину заделки, увеличив, если не выполняется условие (20), или уменьшив, если выполняется неравенство (21), величину Y_0 .

При проведении уточняющего расчета остаются неизменными все равнодействующие, кроме нижних (на рисунке 5 : R_{10} и R_{11}). Последние изменяются, поскольку перемещается неподвижная точка. Нужно определить активное и пассивное давление в этой точке , скорректировать эпюру давления и вычислить равнодействующие. Плечи всех равнодействующих при определении моментов изменяются на величину смещения неподвижной точки. Вычислив новые значения опрокидывающего и удерживающего моментов нужно вновь проверить выполнение неравенств (20) и (21) и, при необходимости, еще раз уточнить глубину заделки.

8 Подбор размеров ограждения

Чтобы определить требуемые геометрические параметры несущих элементов ограждения, работающих на изгиб (требуемые моменты сопротивления сечений шпунтин), нужно сначала найти место, где возникает наибольший изгибающий момент. Эта задача решается с помощью эпюры поперечных сил. Величина поперечной силы в каждой расчетной точке находится по формуле:

$$Q = \sum R, \quad (22)$$

в правой части которой под знаком суммы – равнодействующие, расположенные выше расчетной точки. Поскольку в нижней части равнодействующие имеют знак минус, на одном из участков ниже дна котлована эпюра Q меняет знак. Максимальное значение изгибающего момента будет в точке, где $Q=0$. Координата (расстояние от поверхности) Y_m этой точки находится по формуле

$$Y_m = Y_i - \frac{Q_i(Y_i - Y_{i-1})}{Q_i - Q_{i-1}}, \quad (23)$$

где Y_i – координата нижней расчетной точки прямолинейного участка эпюры поперечных сил, на котором поперечная сила меняет знак,
 Y_{i-1} – координата верхней расчетной точки этого участка,
 Q_i, Q_{i-1} – соответственно, значения поперечных сил в этих точках.

Величины поперечных сил в формулу (23) следует подставлять со своими знаками. Очевидно, что точка с экстремальным значением момента находится ниже дна котлована ($Y_m > Y_d$).

Теперь надо вычислить изгибающий момент в этой точке. Для вычисления можно использовать величины равнодействующих, расположенных выше указанной точки.

$$M_{\max} = \sum R_j (Y_m - Y_j), \quad (24)$$

где Y_j – координата точек пересечения линии действия равнодействующих с ограждением. Суммирование осуществляется только для тех равнодействующих, у которых $Y_j < Y_m$. При суммировании должен быть учтен и знак равнодействующих.

Требуемый момент сопротивления несущих элементов ограждения (в расчете на 1м длины стенки по горизонтали)

$$W_{mp} = M_{\max} / (R_y \gamma_c), \quad (25)$$

где R_y – расчетное сопротивление материала при изгибе,
 γ_c – коэффициент условия работы ($\gamma_c=1$).

Если ограждение представляет собой сплошную шпунтовую стенку из корытного профиля типа «Ларсен», то типоразмер шпунта может быть подобран по максимальному изгибающему моменту (Таблица 4)

Таблица 4 – Расчетные изгибающие моменты одного метра шпунтовой стенки типа «Ларсен»

Типоразмер	Расчетный изгибающий момент, кНм
Л-III	400
Л-IV	550
Л-V	750

Ограждение также может представлять собой шпунты из двутавров, между которыми укладывается забирка из деревянных брусков. Тогда суммарный момент сопротивления двутавров в расчете на 1м длины ограждения должен быть не меньше требуемого, вычисленного по формуле (26). Значения моментов сопротивления некоторых двутавров приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Моменты сопротивления двутавров

Тип	30	36	40	30К1	35К1	40К1
W, см ³	472	743	953	1223	1843	2364

9 Оформление расчетно-графической работы

Расчетно-графическая работа оформляется в виде записки на стандартных листах писчей бумаги формата А4. Рисунки, схемы, графики выполняются на таких же листах, либо на миллиметровой бумаге того же формата. Однотипные вычисления желательно сводить в таблицы. Все вычисления должны сопровождаться пояснениями. Работа должна быть сброшюрована и иметь титульный лист.

Список использованных источников

1. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений [Текст]: учеб.пособие / Под ред. Б.И.Далматова.-М.: Изд-во АСВ: СПб.: СПбГАСУ, 1999-340с.
2. Проектирование подпорных стен и стен подвалов [Текст]/ ЦНИИПромзданий. - М.: Стройиздат, 1990. - 104с.
3. Механика грунтов, основания и фундаменты[Текст]: учеб.пособие/ С.Б.Ухов [и др.] - М. Высш.шк., 2002.- 566с.

Приложение А (обязательное)

Таблица А1- Варианты типов грунтов

Номер варианта	Γ_1	Γ_2	Γ_3	Γ_4
01	1	9	18	22
02	2	10	19	23
03	3	11	20	24
04	4	12	21	25
05	5	13	22	26
06	6	14	23	27
07	7	15	24	1
08	8	16	25	2
09	9	17	26	3
10	10	18	27	4
11	11	19	1	5
12	12	20	2	6
13	13	21	3	7
14	14	22	4	8
15	15	23	5	9
16	16	24	6	10
17	17	25	7	11
18	18	26	8	12
19	19	27	9	13
20	20	1	10	14
21	21	2	11	15
22	22	3	12	16
23	23	4	13	17
24	24	5	14	18
25	25	6	15	19
26	26	7	16	20
27	27	8	17	21

Таблица А2 – Данные о слоях и нагрузках

Номер варианта	m ₁ , м	m ₂ , м	m ₃ , м	m ₄ , м	q, кПа	a, м	b, м	у _д , м
1	1,0	2,5	3,5	3,5	10	1,0	1,0	4,0
2	1,5	3,0	0,5	4,0	15	1,5	0,5	4,5
3	2,0	0,5	1,0	6,0	20	2,0	2,0	5,0
4	2,5	1,0	1,5	5,0	25	1,0	1,5	5,5
5	3,0	1,5	2,0	4,5	30	1,5	1,0	6,0
6	1,0	2,0	2,5	4,0	35	2,0	1,0	4,0
7	1,5	2,5	3,0	3,5	40	1,0	2,0	4,5
8	2,0	3,0	3,5	3,0	45	1,5	1,5	5,0
9	2,5	0,5	0,5	6,0	50	2,0	1,5	5,5
10	3,0	1,0	1,0	6,5	10	2,5	1,0	6,0
11	1,0	1,5	1,5	4,0	15	1,0	0,5	4,0
12	1,5	2,0	2,0	4,0	30	1,5	2,0	4,5
13	2,0	2,5	2,5	3,5	25	2,0	1,0	5,0
14	2,5	3,0	3,0	4,5	30	2,5	0,5	5,5
15	3,0	0,5	3,5	4,0	35	1,0	1,0	6,0
16	1,0	1,0	0,5	5,5	40	2,0	2,0	4,0
17	1,5	1,5	1,0	6,5	45	1,0	1,5	4,5
18	2,0	2,0	1,5	6,0	50	1,5	2,5	5,0
19	2,5	2,5	2,0	5,0	10	2,0	0,5	5,5
20	3,0	3,0	2,5	4,5	15	2,5	1,5	6,0

Таблица А3 – Свойства грунтов

Номер грунта	Тип грунта	γ , кН/м ³	φ , град.	c , кПа
1	Глина	18,2	16	30
2	Глина	18,5	15	18
3	Глина	19,4	17	15
4	Глина	18,9	17	19
5	Глина	21,5	24	40
6	Глина	19,0	18	28
7	Глина	18,2	18	20
8	Глина	18,5	17	12
9	Суглинок	20,0	18	50
10	Суглинок	20,1	25	25
11	Суглинок	18,5	14	14
12	Суглинок	19,2	18	18
13	Суглинок	15,0	8	14
14	Суглинок	19,5	20	25
15	Суглинок	19,2	22	35
16	Суглинок	20,5	26	10
17	Суглинок	19,2	24	8
18	Супесь	18,3	20	5
19	Супесь	18,7	21	15
20	Супесь	22,8	29	25
21	Супесь	22,6	28	35
22	Песок крупный, ср.кр	20,1	38	-
23	Песок крупный, ср.кр	19,2	35	-
24	Песок крупный, ср.кр	20,1	36	-
25	Песок пылеватый	19,0	30	-
26	Песок пылеватый	19,0	28	-
27	Песок пылеватый	17,6	35	-

Таблица А4 – Тангенсы некоторых углов

β , град.	23	24	25	26	27	28
$\operatorname{tg} \beta$	0,42	0,45	0,47	0,49	0,51	0,53
β , град.	29	30	31	32	33	34
$\operatorname{tg} \beta$	0,55	0,58	0,60	0,62	0,65	0,67
β , град.	35	36	37	38	39	40
$\operatorname{tg} \beta$	0,70	0,73	0,75	0,78	0,81	0,84
β , град.	41	42	43	44	45	46
$\operatorname{tg} \beta$	0,87	0,90	0,93	0,97	1,00	1,04
β , град.	47	48	49	50	51	52
$\operatorname{tg} \beta$	1,07	1,11	1,15	1,19	1,23	1,28
β , град.	53	54	55	56	57	58
$\operatorname{tg} \beta$	1,33	1,38	1,43	1,48	1,54	1,60
β , град.	59	60	61	62	63	64
$\operatorname{tg} \beta$	1,66	1,73	1,80	1,88	1,96	2,05
β , град.	65	66	67	68	69	70
$\operatorname{tg} \beta$	2,14	2,25	2,36	2,48	2,60	2,75