Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 15.10.2026 15:39:37
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Кафедра Промышленного, гражданского и подземного строительства

Основы расчета строительных конструкций

Методические указания
к выполнению курсовой работы

для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство», профили «Промышленное и гражданское строительство», «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение», «Урбанистика и строительство» и специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специализация «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений» всех форм обучения

Москва 2026

ВВЕДЕНИЕ

Основы расчета строительных конструкций являются важнейшими элементами зданий и сооружений. В общем объеме строительства устройство Основы расчета строительных конструкций имеет значительный удельный вес, как по стоимости, так и трудоемкости строительных работ. Недоброкачественное отношение к Основам расчета строительных конструкций часто является причиной появления их недопустимых деформаций, которые могут явиться причиной повреждения, а иногда и разрушения здания. Если при строительстве в целях перестраховки устраивают фундаменты больших размеров, чем требуется по условиям эксплуатации основания, то это приводит к ненужным дополнительным работам и перерасходу строительных материалов.

***Цель работы*:** закрепить, систематизировать и более глубоко усвоить теоретические положения курса "Основы расчета строительных конструкций ".

1. Характеристика грунтов оснований. Сбор нагрузок на фундаменты. Подбор фундамента. Определение глубины заложения и размеров подошвы фундаментов мелкого заложения.

Проектирование строительных конструкций должно производиться по инженерно-геологическим данным.

Основания можно разделить на скальные и нескальные.

Скальные основания имеют прочность на одноосное сжатие более 50 МПа, не скальные от 5 до 50 МПа.

Нескальные основания представляют собой массивы, сложенные крупнообломочными, песчаными и пылевато-глинистыми грунтами. Крупнообломочные и песчаные грунты классифицируются по гранулометрическому составу и по степени влажности.

К крупнообломочным относятся грунты, у которых частицы диаметром более 2 мм:

- валунные – более 200мм;
- галечниковые – более 10 мм;
- гравийные – более 2 мм.

Частицы песчаных грунтов имеют диаметр менее 2 мм и подразделяются на: песок гравелистый (более 2), песок крупный (2 – 0,5), песок средней крупности (0,25-0,5), песок мелкий и песок пылеватый (более 0,1).

По степени влажности крупнообломочные и песчаные грунты делятся на маловлажные ($0<S_r\leq0,5$), влажные ($0,5<S_r\leq0,8$) и насыщенные водой ($0,8<S_r\leq1$). При $S_r=0$ грунт считается абсолютно сухим, а при $S_r=1$ полностью насыщенный водой.

Плотность сложения песка характеризуется коэффициентом пористости ***e***.

Пески гравелистые, крупные и средней крупности:

при $e<0,55$ – плотные;

при $0,55< e< 0,7$ – средней плотности;

при $e>0,7$ – рыхлые.

Пески мелкие:

при $e<0,6$ – плотные;

при $0,6< e< 0,75$ – средней плотности;

при $e>0,75$ – рыхлые.

Пески пылеватые:

при $e<0,6$ – плотные;

при 0,6< ***e***< 0,8 – средней плотности;

при ***e***>0,8 – рыхлые.

В общем случае, при 0,5≤***e***≤0,6 песок является хорошим основанием, а при ***e***> 0,7 основание в естественном состоянии обладает значительной сжимаемостью.

Пылевато-глинистые грунты (супеси, глины, суглинки) обладают специфическими особенностями по сравнению с песчаными. Наличие органических веществ, солей, карбонатов и др. веществ вызывает при замачивании явления просадки или набухания. Пылевато-глинистые грунты подразделяют по числу пластичности I_p и показателю текучести I_L.

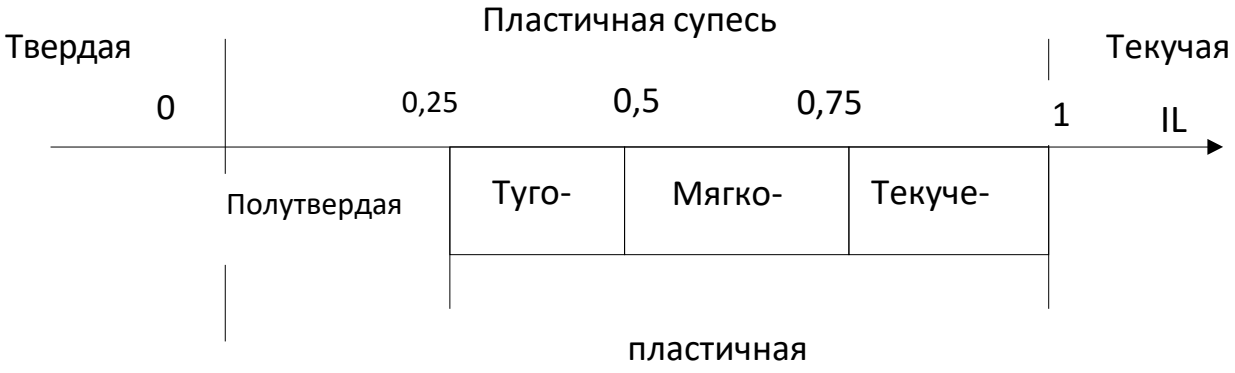
По числу пластичности различают:

- супеси, при $1 \le I_p \le 7$;
- суглинки, при $7 < I_p \le 17$;
- глины, при $I_p < 17$.

Показатель текучести I_L характеризует консистенцию глинистого грунта. По его величине можно косвенно определить и степень сжимаемости основания.

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p},$$

где w – естественная влажность грунта, w_p – влажность на границе раскатывания, w_L – влажность на границе текучести.



Т.е., если грунт имеет показатель текучести менее 0, то данный слой грунта обладает низкой сжимаемостью, а значение более 0,75 говорит о повышенной сжимаемости основания.

Наихудшим видом основания являются илы и заторфованные грунты. Лессовые грунты в маловлажном состоянии могут служить хорошим основанием. Однако при замачивании водой они дают просадку.

При проектировании оснований используются расчетные значения характеристик грунта

$$X = \frac{X_n}{\gamma_g},$$

где X_n – нормативное значение характеристики грунта, γ_g – коэффициент надежности по грунту.

Для полной оценки грунта основания необходимо определить среднее значение модуля деформации

$$E = \frac{\beta_0(1+e_0)}{\alpha},$$

где β_0 – коэффициент, зависящий от бокового расширения грунта, e_0 – коэффициент пористости грунта, α – коэффициент сжимаемости грунта.

$$\beta_0 = 1 - \frac{2v_0^2}{1-v},$$

здесь v_0 – коэффициент бокового расширения грунта (коэффициент Пуассона).

$$\alpha = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1},$$

здесь e_1, e_2 – коэффициенты пористости грунта, P_1, P_2 – давление на грунт, МПа (берутся по данным компрессионных испытаний).

Основными строительными характеристиками грунтов являются: модуль деформации E, удельный вес γ, влажность w, угол внутреннего трения φ, сцепление c.

1.2 Подбор фундамента. Определение глубины заложения и размеров подошвы фундаментов мелкого заложения.

Даже при однородном грунте в пределах большой глубины можно наметить несколько вариантов устройства фундаментов. Варианты могут отличаться друг от друга по материалу, конструкциям фундамента, глубине его заложения, ширине подошвы, подготовке основания, способу устройства фундаментов и т.д. Из них следует выбрать оптимальное решение, что можно сделать на основе технико-экономического сравнения вариантов. При этом должны учитываться стоимость возводимой конструкции фунда-

мента, ее долговечность, скорость возведения, сохранение структуры грунтов в основании во время земляных работ.

Процесс рассмотрения вариантов является основным в проектировании фундаментов, поэтому важно правильно решить главные вопросы при их выборе. Для этого рекомендуется:

1) составить эскизы всех реальных вариантов;

2) отобрать наиболее приемлемые из них;

3) рассчитать отобранные варианты для наиболее загруженного фундамента;

4) произвести технико-экономическое сравнение вариантов.

Расчет фундаментов начинают с предварительного выбора их конструкции и основных размеров, к которым в первую оче- редь относится глубина заложения фундамента.

При выборе глубины заложения фундаментов стоит основная задача в выборе несущего слоя грунта. При этом необходимо учитывать следующие факторы:

- инженерно-геологические и гидрогеологические условия площадки строительства (характер напластования грунтов, их физико-механические свойства, положение подземных вод с учетом изменений);

- климатические особенности района строительства (промерзание – оттаивание грунтов);

- особенности возводимого и соседних сооружений (наличие и размеры подземных и повальных помещений, глубина заложения соседних фундаментов, наличие коммуникаций);

- способ производства работ по отрывке котлована.

Заглубление фундаментов в грунт ниже дневной поверхности или уровня пола подвала принимают не менее 0,5 м.

Из условия промерзания глубина заложения фундаментов назначается в зависимости от их вида, состояния, влажности, уровня подземных вод в период промерзания. Для грунтов, которые подвергаются силам морозного пучения необходимо фундаменты закладывать ниже глубины сезонного промерзания. К таким грунтам относятся пылевато-глинистые грунты, пески мелкие и пылеватые. Скальные породы, крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем, пески гравелистые, крупные и средней крупности относятся к непучинистым грунтам. Глубина заложения в них не зависит от глубины промерзания.

Расчетная глубина промерзания

$$d_f = k_h \cdot d_{fn} \quad ,$$

где d_{fn} – нормативная глубина промерзания грунта, м;

k_h – коэффициент, учитывающий влияние теплового режима сооружения на глубину промерзания грунтов (принимается по табл. 1). Для неотапливаемых помещений равен 1,1.

Нормативная глубина сезонного промерзания грунта d_{fn} определяется по формуле

$$d_{fn} = d_0 \sqrt{M_t} \quad ,$$

где d_0 – глубина промерзания: для глин и суглинков 0,23, супесей, песков пылеватых и мелких - 0,28; песков средней крупности , крупных и гравелистых -0,30; крупнообломочных грунтов – 0,34;

M_t– безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур воздуха за зиму в данном районе, принимаемых по СНиП «Строительная климатология»

Таблица 1

Коэффициент, учитывающий влияние теплового режима сооружения на глубину промерзания грунтов

Особенности сооружения	Коэффициент, при расчетной температуре воздуха в помещении, примыкающем к фундаментам наружных стен, ºС				
	0	5	10	15	20 и более
Без подвала, с полами, устраиваемыми: на грунте	0,9	0,9	0,7	0,6	0,5
на лагах, по грунту	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
по утепленному цокольному перекрытию	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7
С подвалом или техническим подпольем	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

Также, расчетную глубину промерзания рекомендуют корректировать в зависимости от положения грунтовых вод и показателя текучести пылевато-глинистых грунтов (табл.2).

Таблица 2

Глубина заложения подошвы фундамента в зависимости от расчетной глубины промерзания

Наименование грунта под подошвой фундамента	Глубина заложения фундамента от уровня планировки в зависимости от глубины расположения подземных вод, м	
	$d_w \le (d_f + 2)$	$d_w > (d_f + 2)$
Скальные, крупнообломочныес песчаным заполнителем, пес- ки гравелистые, крупные и средней крупности	не зависит от d_f	не зависит от d_f
Пески мелкие и пылеватые	Не менее d_f	не зависит от d_f
Супеси с показателем текучести: I_l<0 I_l≥0	Не менее d_f Не менее d_f	не зависит от d_f Не менее d_f
Суглинки, глины, крупнообломочные грунты с пылевато-глинистым заполнителем при показателе текучести: I_l≥0,25 I_l<0,25	Не менее d_f Не менее d_f	Не менее d_f не менее 0,5d_f

Задание: рассмотреть возможные варианты фундаментов и найти минимальную глубину заложения фундаментов наружных конструкций.

Характеристики грунтов принять из задания раздела 2.

Задача 1. 12-ти этажный жилой дом с продольными несущими стенами в г. Ростов-на-Дону, подвал на глубине 1,2 м.

Задача 2. Производственное здание с полами на грунте в г. Санкт-Петербурге. Температура в помещении 20ºС. Подземные воды на глубине 2,5 м.

2. Определение давления грунта на подпорную стенку

2.1. Определение давления на подпорную стенку от идеально сыпучего грунта

Общее выражение для определения давления сыпучих грунтов имеет следующий вид:

$$\sigma^{y} = \gamma \cdot z \cdot tg^2\left(45^0 - \frac{\varphi}{2}\right), \qquad (1.1)$$

где z– расстояние точки от поверхности засыпки;

γ – удельный вес грунта;

φ – угол внутреннего трения.

Максимальное активное давление грунта на вертикальную гладкую стенку при z=H:

$$\sigma^{ya(H)} = \gamma \cdot H \cdot tg^2\left(45^0 - \frac{\varphi}{2}\right), \qquad (1.2)$$

где H – высота стенки.

Эпюра распределения давления по граням стенки будет треугольной. Равнодействующая активного давления на подпорную стенку равна площади эпюры давления:

$$E_a = \sigma_{ya(H)} \cdot \frac{H}{2}. \qquad (1.3)$$

Максимальное пассивное давление грунта на заднюю грань вертикальной стены при z=h′:

$$\sigma^{ya(h)} = \gamma \cdot h \cdot tg^2\left(45^0 - \frac{\varphi}{2}\right). \qquad (1.4)$$

Равнодействующая пассивного давления:

$$E_a = \sigma_{ya(h)} \frac{h}{2}. \qquad (1.5)$$

По полученным данным следует построить расчетную схему и эпюру напряжений (рис.1).

При построении расчетной схемы и эпюр активного и пассивного давлений грунта на подпорную стенку следует принимать

масштаб расстояний 1:50, масштаб давлений 0,025Мпа в 1 см.

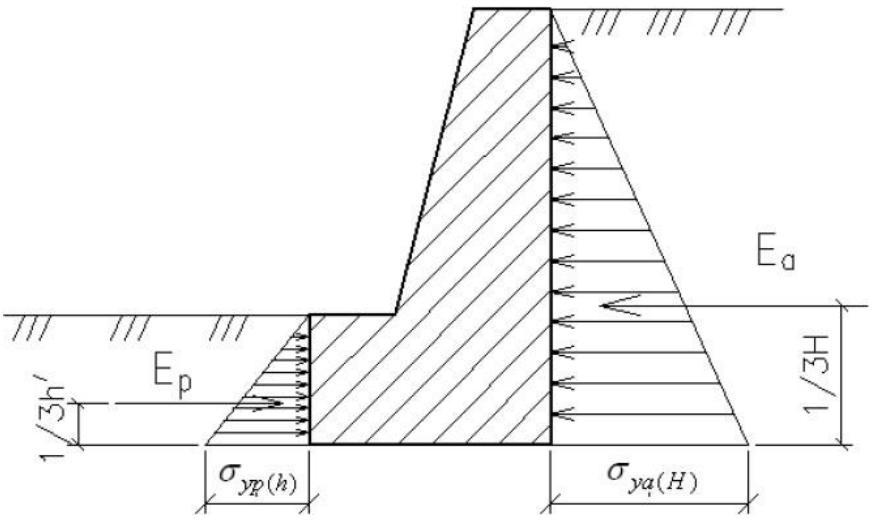


Рис. 1. Расчетная схема подпорной стены

2.2. Определение давления на подпорную стенку от идеально сыпучего грунта с учетом пригруза на поверхности грунта

Действие сплошного равномерно распределенного пригруза в этом случае заменяется эквивалентной высотой слоя грунта, равной:

$$h = \frac{q}{\gamma}. \qquad (1.6)$$

Активное давление на уровне верха подпорной стенки:

$$\sigma_{ya(h)} = \gamma \cdot h \cdot tg^2\left(45^0 - \frac{\varphi}{2}\right). \qquad (1.7)$$

Активное давление на подошве подпорной стенки:

$$\sigma_{ya(h+H)} = \gamma \cdot (h+H) \cdot tg^2\left(45^0 - \frac{\varphi}{2}\right). \qquad (1.8)$$

Равнодействующая активного давления:

$$E_a = \frac{\sigma_{ya(h)} + ¿\, \sigma_{ya(h+H)}}{2} \cdot H. \qquad (1.9)$$

По полученным данным строим расчетную схему и эпюру напряжений (рис.2).

При построении расчетной схемы и эпюр активного и пассивного давлений грунта на подпорную стенку следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб давлений 0,025 МПа в 1 см.

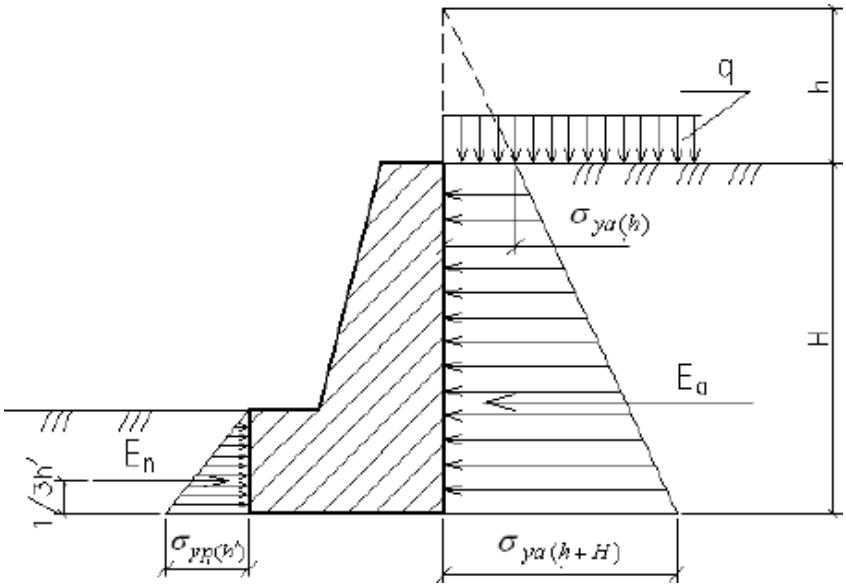


Рис. 2. Расчетная схема подпорной стены с пригрузом

2.3. Определение давления на подпорную стенку от связного грунта

Действие сил сцепления заменяется всесторонним давлением связности:

$$p_e = \frac{c}{tg\varphi}. \qquad (1.10)$$

Далее приводим давление связности по вертикали к эквивалентному слою грунта:

$$h = \frac{c}{\gamma \cdot tg\varphi}. \qquad (1.11)$$

Активное давление на подошве подпорной стенки:

σ2=γ·(H +h) ·tg2 (450− φ 2)−pe . (1.12)

Подставляя значения и преобразовывая, получаем:

σ2=γ·(H + c γ·tg φ) ·tg2 (450− φ tgφ)=¿

¿ γ· H ·tg2 (450− φ 2)−2· c ·tg(450− φ 2) . (1.13)

На некоторой глубине суммарное давление будет равно нулю, из условия σ_2 =0 находим высоту h_c:

$$h_c = \frac{2 \cdot c}{\gamma \cdot tg\left(45^0 - \frac{\varphi}{2}\right)}. \qquad (1.14)$$

Равнодействующая активного давления:

$$E_a = \frac{\sigma_2 (H - h_c)}{2}. \qquad (1.15)$$

Равнодействующая пассивного давления в связных грунта будет равна:

$$E_n = \frac{\gamma \cdot h^2}{2} \cdot tg^2\left(45^0 + \frac{\varphi}{2}\right) + 2 \cdot c \cdot h \cdot tg\left(45^0 + \frac{\varphi}{2}\right). \qquad (1.16)$$

По полученным данным строим расчетную схему и эпюру напряжений (рис.3.). При построении расчетной схемы и эпюр активного и пассивного давлений грунта на подпорную стенку следует принимать масштаб расстояний 1:50, масштаб давлений 0,025 МПа в 1 см.

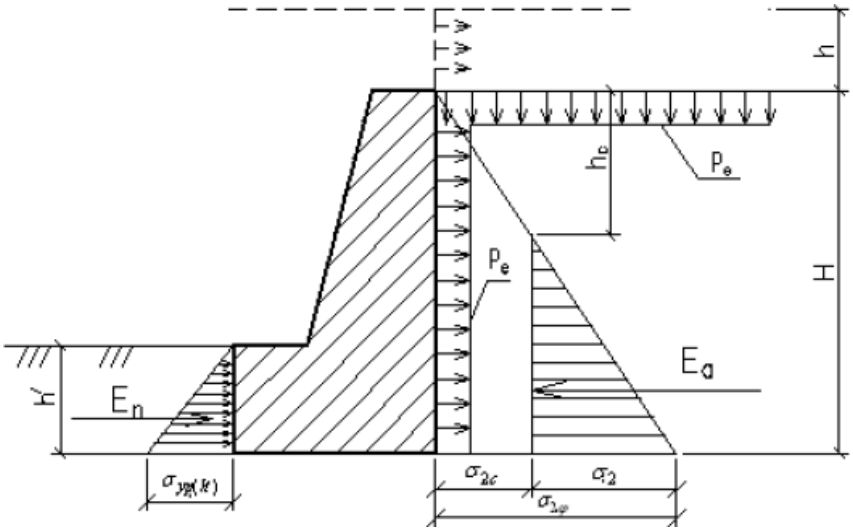


Рис. 3. Расчетная схема подпорной стены

3. Определение коэффициента устойчивости грунтового откоса методом кругло-цилиндрических поверхностей скольжения

В проектной практике широко распространен расчет устойчивости откосов по методу кругло-цилиндрических поверхностей скольжения.

За коэффициент устойчивости откоса $К_у$ принимают отношение момента сил, удерживающих откос от сдвига, $М_{уд}$ к моменту сил, стремящихся сдвинуть откос, $М_{сдв}$:

$$N_i \times tg\varphi + c \times L$$

$$\sum_{i=1}^{n} ¿ \times R \qquad (2.1)$$

¿

¿

$$K_y = \frac{M_{уд}}{M_{свд}} = ¿$$

где n – число отсеков, на которые делится призма скольжения;
N_i – нормальные составляющие от веса отсеков Pi, равные $P_i \cos\Theta_i$ (рис. 2.2);
φ – угол внутреннего трения грунта откоса;
c – удельное сцепление грунта откоса;
l – длина дуги скольжения АС;
R – радиус кругло-цилиндрической дуги скольжения;
T_i – касательные составляющие от веса отсеков P_i, равные $P_i \sin\Theta_i$ (рис. 4.1).

Для откосов в однородной толще грунтов весьма удобным для определения координат X и Y центра «О» наиболее опасной кругло-цилиндрической поверхности скольжения, для которой коэффициент устойчивости K_y минимальный, является график Янбу, представленный на рис.4.

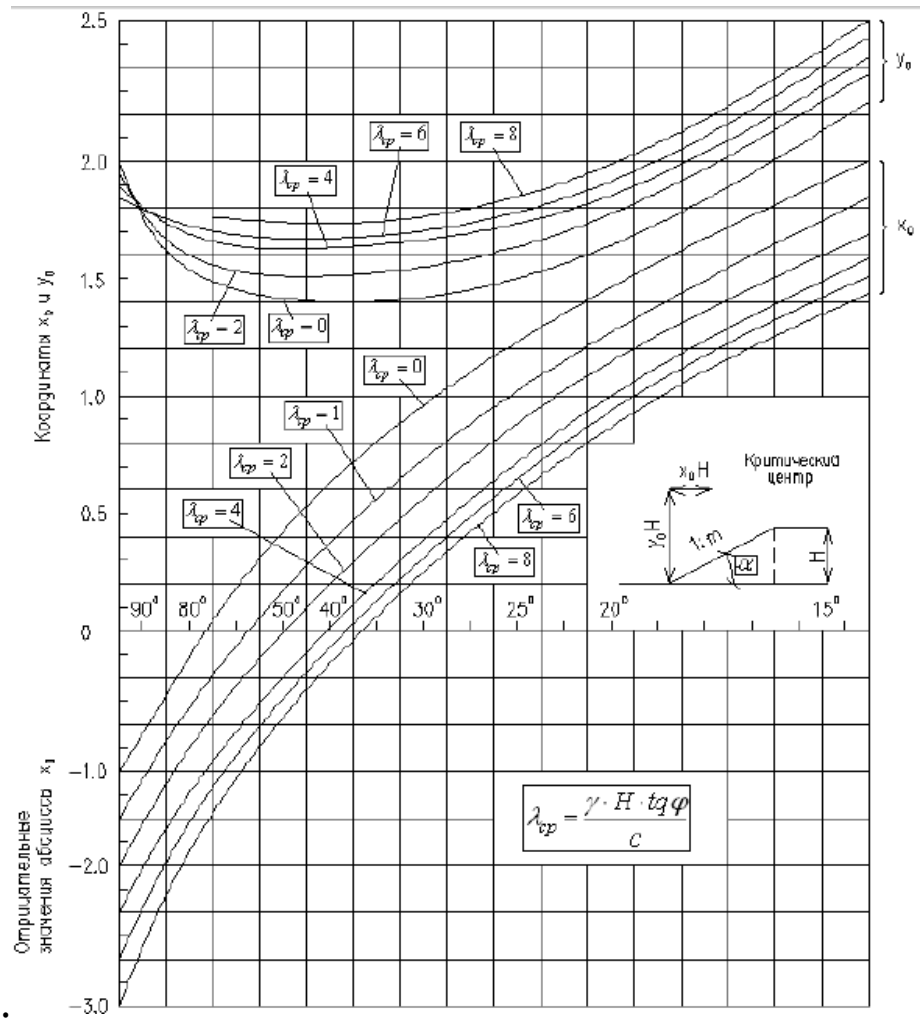


Рис. 4. График Янбу для определения координат X и Y центра О, наиболее опасной кругло-цилиндрической поверхности скольжения с минимальным коэффициентом устойчивости K_y:

H – высота откоса; X_0, Y_0 – безразмерные величины, устанавливаемые по графику в зависимости от угла откоса α (определяется по заданному заложению откоса m) и $\lambda_{ср.}$

Момент принимается для восходящей ветви кривой скольжения отрицательным, а для нисходящей ветви – положительным

Вместе с тем без большой погрешности при $\cos\Theta_i$=0,8 формула для определения коэффициента устойчивости откоса может быть записана в более простом виде:

$$K_y = \frac{\left(0{,}8 \cdot \sum_{i=1}^{n} P_i\, tg\varphi + cL\right)R}{\sum_{i=1}^{n} P_i X_i}, \qquad (2.2)$$

где X_i – плечо от линии действия веса расчетного отсека до центра вращения (рис. 4).

Радиус кругло-цилиндрической дуги скольжения R, а также ширину и высоту отсеков допускается определять графически из расчетной схемы (рис. 4.1.), выполненной в масштабе М 1:100. Для расчета выделяют один погонный метр по длине отсека (перпендикулярно к плоскости чертежа). Вес расчетного отсека определяется как произведение удельного веса грунта на объем отсека $P_i=\gamma \cdot V_i$.

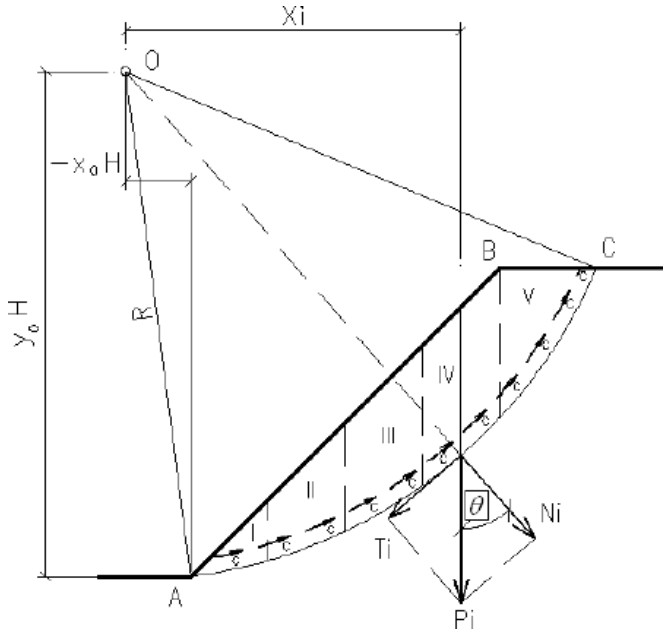


Рис. 4.1. Схема к расчету устойчивости откоса методом кругло-цилиндрических поверхностей скольжения

Пример расчета:
Высота откоса *H*=12м.
Заложение откоса *m*=2м.
Угол внутреннего трения грунта φ=16°.
Удельное сцепление грунта *c*=10 кПа.
Удельный вес грунта γ=22кН/м^3.

Решение.

Определяем значение $\square_{cp} = \frac{\gamma \times H \times tg\varphi}{c} = \frac{22 \times 12 \times tg\,16}{10} = 8.$

Угол наклона грунтового откоса $\alpha = arctg\left(\frac{1}{m}\right) = arctg\left(\frac{1}{2}\right) = 27.$

Для данных значений $\square_{cp}=8$, $\alpha=27$ по графику Янбу(рис.4) определяем относительные координаты x_0 и y_0 центра наиболее опасной кругло-цилиндрической поверхности скольжения*O*:

$$x_0=0{,}45,\ y_0=1{,}8.$$

Координаты центра наиболее опасной кругло-цилиндрической поверхности скольжения*O*:

$x = x_0 \times H = 0{,}45 \times 12 = 5{,}4$ *м*

$y = y_0 \times H = 1{,}8 \times 12 = 21{,}6$ *м*

Схема к расчету представлена на рисунке 4.2. При этом длина дуги скольжения L=30,3м, радиус дуги – R=22,3м.

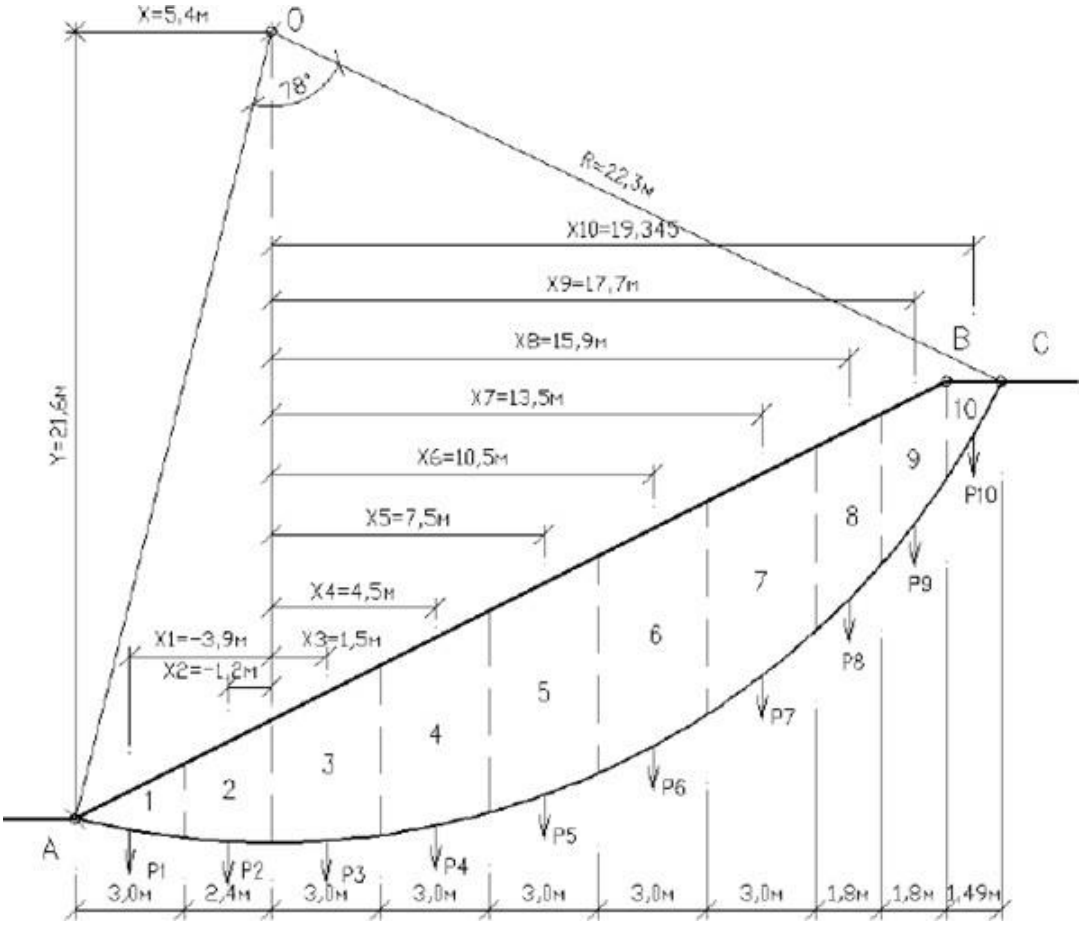


Рис.4.2. Схема к расчету устойчивости откоса методом кругло-цилиндрических поверхностей скольжения

Сдвигающий момент $M_{сдв}$ для блоков 1 и 2 принимаются отрицательным, так как они находятся на восходящей ветви кривой скольжения.

Выделяем для расчета 10 отсеков шириной не более 3,0 м каждый и далее расчет ведем в табличной форме.

Далее заполняем таблицу.

Номер отсека	Объём расчетного отсека V_i, *м*	Вес расчетного отсека P_i, *м*	X_i, *м*	$P_i \times tg\varphi + cL$ $0{,}8 \times \sum_{i=1}^{n}$ ¿ $\times R$ ¿ ¿ K_y=¿

1	*2*	*3*	*4*	*5*
1	3,1	68,2	-3,9	0.95
2	6,5	143,0	-1,2	
3	12,2	268,4	1,5	
4	15,3	336,6	4,5	
5	17,3	380,6	7,5	
6	17,9	393,8	10,5	
7	16,5	363,0	13,5	
8	8,3	182,6	15,9	
9	6,1	134,2	17,7	
10	2,1	46,2	19,345	

Так как коэффициент устойчивости откоса $К_у$=0,95 < 1,2, грунтовый откос является неустойчивым.

4. Расчет осадки методом послойного суммирования

Расчет конечной осадки S оснований по методу послойного суммирования производится с учетом действия только вертикальных напряжений σ_{zg}и σ_{zp}, проходящих через центр тяжести подошвы фундамента вдоль оси «Z».

Схема к расчету осадки фундамента методом послойного суммирования представлена на рис. 5.

Этот метод рекомендован СНиП 2.02.01-83* [6] и является основным при расчете абсолютных осадок фундаментов промышленных зданий и гражданских сооружений. Осадка основания S рассчитывается с использованием расчетной схемы в виде линейно-деформируемого полупространства рассчитывается по формуле (3.1).

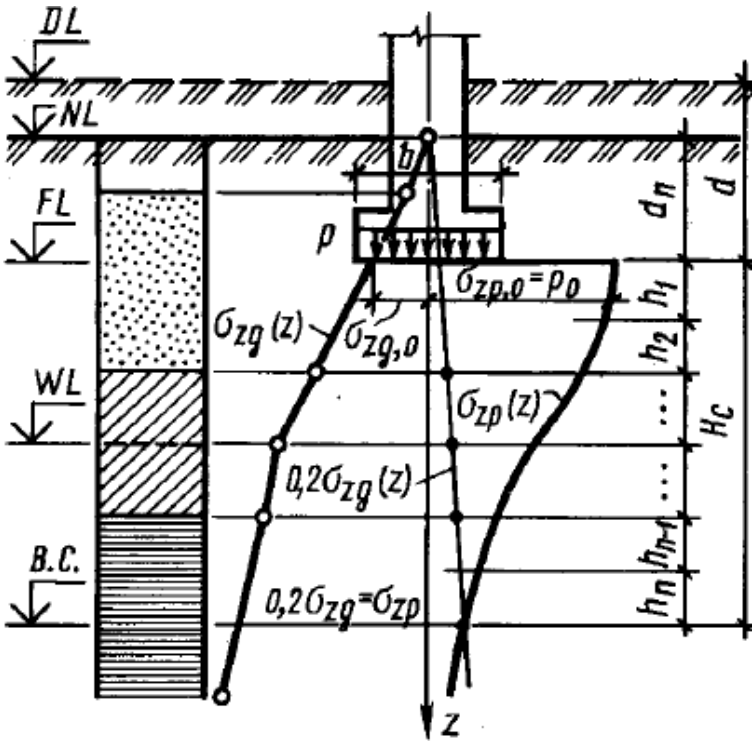


Рис. 5. Схема к расчету осадки фундамента методом послойного суммирования:

DL -поверхность планировки подсыпкой; NL -поверхность природного рельефа; FL-отметка подошвы фундамента; W-уровень подземных вод; BC -нижняя граница сжимаемой толщи грунта; HC -сжимаемая толща грунта

$$S=\beta\sum_{i=1}^{n}\frac{\sigma_{zpi}h_i}{E_i},см, \qquad (3.1)$$

где β –безразмерный коэффициент, равный 0,8;

$\sigma_{zp,i}$- среднее значение дополнительного вертикального напряжения в i-ом слое грунта, равное полусумме указанных напряжений на верхней z_{i-1} и нижней z_i границах слоя по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента;

h_i и E_i - соответственно толщина и модуль деформации i-го слоя грунта;

n - число слоев, на которое разбита сжимаемая толща основания.

Вычисление конечной осадки фундамента мелкого заложения (ФМЗ) методом послойного суммирования производится в следующей последовательности:

1. Вычисляем ординаты эпюр природного (бытового) давления $\sigma_{zg,i}$в характерных точках на расчетной схеме, в т.ч.: границы слоев между грунтами (ИГЭ), отметка подошвы фундамента *FL*;

отметка уровня расположения подземных вод *WL* по глубине полупространства вдоль оси «z».

Давления $\sigma_{zg,i}$по глубине определяем по формуле (3.2).

$$\sigma_{zg,i}=\sum_{i=1}^{n}\gamma_{IIi}\cdot h_i, кПа, \qquad (3.2)$$

где γ_{IIi} –удельный вес i-ого слоя грунта (при наличии подземных вод определяется с учетом взвешивающего действия воды);
h_i –толщина i-го слоя грунта.

2. Вычисляем ординаты эпюр вспомогательного давления $\sigma_{z\text{-}всп,i}$ в тех же характерных точках, что и $\sigma_{zg,i}$на расчетной схеме (рис. 3.1) по глубине полупространства вдоль оси «z». Давления $\sigma_{zвсп,i}$по глубине полупространства, определяем по формуле (3.3) или (3.4), в зависимости от модуля деформации E грунта основа- ния, расположенного под подошвой ФМЗ:

$$\sigma_{zвсп,i}=\sum_{i=1}^{n}0{,}2\cdot\sigma_{zg,i}-при\ E\geq 5\ МПа\,(50\,кПа) \qquad (3.3)$$

$$\sigma_{zвсп,i}=\sum_{i=1}^{n}0{,}1\cdot\sigma_{zg,i}-при\ E\in 5\ МПа\,(50\,кПа) \qquad (3.4)$$

Ниже уровня подземных вод *WL* удельный вес грунта определяем с учетом взвешивающего действия воды γ_w. Поэтому природное (бытовое) давление $\sigma^w_{zg,i}$ниже *WL* вычисляем по формуле:

$$\sigma^{w}_{zg,i}=\sum_{i=1}^{n}\frac{\gamma_{si}-\gamma_w}{1+e_i}, \qquad (3.5)$$

где γ_{si} – удельный вес частиц i-ого слоя грунта;
γ_w – удельный вес подземной воды, принимаемый равным 10кН/м^3;
e_i-коэффициент пористости i-ого слоя грунта.

3. По полученным значениям ординат $\sigma_{zg,i}$, $\sigma_{zвсп,I}$,$\sigma^w_{zg,i}$ на схеме геологического разреза в масштабе строим эпюры природного давления $\sigma_{zg,i}$и $\sigma^w_{zg,i}$(слева от оси OZ) и вспомогательную эпюру $0{,}2\sigma_{zg,i}$или $0{,}1\sigma_{zg,i}$(справа от оси OZ) (рис.3.1).

4. Определяем дополнительное вертикальное давление P_0 и P на грунты основания от здания или сооружения в контактнойзоне, на уровне подошвы фундамента FL:

$$P_0=P-\sigma_{zq,0}\quad, кПа, \qquad (3.6)$$

$$P=\frac{N_{II}}{A_f}+\gamma_{mt}\cdot d_I,\ \ кПа, \qquad (3.7)$$

где P - среднее давление под подошвой фундамента, кПа;
$\sigma_{zq,0}$ - природное (бытовое) давление грунта на уровне подошвы фундамента *FL* в контактной зоне, кПа;
N_{II} - вертикальная нагрузка от сооружения, приложенная к обрезу фундамента при расчете по II-ой группе предельных состояний, кН;
A_f - площадь подошвы фундамента, м^2;
γ_{mt} - осредненный удельный вес фундамента и грунта на его уступах, принимаемый равным 25 кН/м^3;
d_I - глубина заложения фундаментов, м.

5. Разбиваем толщу грунта под подошвой фундамента в пределах каждого из ИГЭ на элементарные слои толщиной:

$$h_i=(0,2\div0,4)\cdot b_f, \text{ м}, \qquad (3.8)$$

где b_f – ширина подошвы фундамента, м.

6. Определяем дополнительные, вертикальные напряжения $\sigma_{zp,i}$по глубине полупространства вдоль центральной оси OZ на глубине z_i от подошвы фундамента FL по формуле:

$$\sigma_{zp,i}=\alpha_i P_0, \quad кПа, \qquad (3.9)$$

где α_i -коэффициент рассеивания напряжений по глубине массива грунта, принимаемый по таблице 5 обязательного приложения 2, в зависимости от формы подошвы фундамента, соотношения сторон прямоугольного фундамента $\eta=\frac{l_f}{b_f}$ и относительной глубины

$$\xi_i=\frac{2_{z_i}}{b_f}.$$

7. По полученным данным строим эпюру дополнительных вертикальных напряжений σ_{zp} ниже подошвы фундамента от отметки *FL* вдоль оси OZ (справа от оси OZ (рис. 5)).

8. Определяем высоту сжимаемой толщи грунта основания H_c, нижняя граница которой BC принимается на глубине z =H_c, где выполняется условие равенства $\sigma_{zp}=0,2\sigma_{zg}$ (рис. 5).

9. Определяем величину общей конечной осадки по формуле (3.1). Для удобства расчета осадки все вычисления ведём в табличной форме вида (таблица).

Таблица

Таблица для расчета конечной осадки ФМЗ (образец)

№ ИГЭ	Наименова-ние грунта и	Мощность слоя, h_i,м	h_i,м	z_i,м	ξ_i , м	α_i	$\sigma_{zp,i}$,	, кПа	E_i, кП

	его состояние						кПа		а

Библиографический список

1. Основания и фундаменты. Ч.2. Основы геотехники: учебник/ Под редакцией Б.И. Далматова. - М.: АСВ, 2002. –392 с.

2. Берлинов М.В. Основания и фундаменты: учеб.для строит. спец. вузов. – М.:Высш. шк., 1999. -319 с.

3. Малышев М.В., Болдырев Г.Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты (в вопросах и ответах): учеб.пособие. – М.: АСВ, 2001. -328 с.

4. Проектирование оснований и фундаментов. Учебник/ Под редакцией Б.И. Далматова. – М.: АСВ, 2002.- 392 с.

5. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строи-тельства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 СП (Свод правил) от 10 декабря 2012 г.

6. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* СП (Свод правил) от 30 июня 2012 г.

7. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* СП (Свод правил) от 27 дека- бря 2010 г.

8. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88

9. СП 26.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 2.02.05-87 Фундаменты машин с динамическими нагрузками - 2012 г.

10. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СП 22.13330.2011). М.: Стройиздат. – 1986г.

11. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* - 2011г.

12. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 СП (Свод правил) от 27 дека- бря 2010 г.

13. СП 21.13330.2012. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.01.09-91 СП (Свод правил) от 29 декабря 2011г.

Приложение 1

Задача №3. Подпорная стенка высотой H с абсолютно гладкими вертикальными гранями и горизонтальной поверхностью засыпки грунта за стенкой имеет заглубление фундамента h'. Определить активное и пассивное давление грунта на подпорную стенку при различных случаях загружения и грунтовых условиях:

а) грунт сыпучий;

б) грунт сыпучий с пригрузом интенсивностью q, кПа;

в) грунт связный.

Таблица 1

Номер вариан-та	Н, м	h`, м	Грунт сыпучий		Грунт связный			q, кПа
			γ, к Н/м^3	φ, град	γ, к Н/м^3	φ, град	с, кПа	
1	6	1,8	19,6	17	20,5	16	16	150
2	8	2,2	21,5	21	19,8	19	18	220
3	7	2	20,6	16	20,2	17	15	160
4	5	1,9	19,1	14	20,9	18	21	150
5	9	2,5	20,3	25	20,8	21	23	180
6	4	1,6	21,8	18	19,7	20	19	120
7	6	1,9	20,8	12	20,6	14	14	240
8	10	3,2	19,4	19	19,8	22	22	200
9	8	2,3	20,4	16	19,6	23	20	150
10	7	2,4	21,3	20	20,4	19	25	140
11	5	1,5	20,1	24	19,7	15	24	130
12	6,5	2,2	19,4	19	20,4	10	27	270
13	9,5	2,6	21,1	17	20,8	17	24	210
14	7	2	20,5	24	19,4	16	26	190
15	12	3,2	19,6	21	20,3	17	27	185
16	11	3,4	21,1	26	20,7	14	27	160
17	6,5	2,7	20,4	24	19,8	18	23	200
18	7,5	1,8	21,4	28	20,4	20	24	270
19	8,5	2,1	19,7	30	19,4	16	29	180
20	9	2,6	20,7	17	20	18	27	195
21	13	3,9	21,3	24	19,7	14	27	195
22	9,5	2,5	19,8	20	19,8	13	24	170
23	6,5	1,8	20,6	21	20,7	18	26	210
24	8,5	2,4	19,4	19	20,3	20	18	150
25	11	3,2	21,5	27	19,4	17	29	170
26	13,5	3,4	20,6	26	19,9	21	17	160
27	7,5	2,4	19,4	21	19,2	16	26	180
28	9	2,8	21,6	19	20,6	17	27	200
29	15	4,1	20,2	22	20,4	13	28	240
30	12,5	3,2	21	27	20,8	12	27	180

Задача №4. Требуется определить методом кругло-цилиндрических поверхностей скольжения величину коэффициента устойчивости $К_у$ грунтового откоса *H* и с заложением *m*. Заданный грунт в состоянии его природной влажности имеет физико-механические характеристики γ ,φ , с .

Исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2

Номер варианта	Высота грунтового откоса *H*, м	Заложения грунтового откоса, *m*	Удельный вес грунта откоса и его основания	Угол внутреннего трения грунта откоса и	Удельное сцепление грунта откоса и его основание

			γ, кН/м^3	его основания φ, град	с, кПа
1	9	0,7	19,6	20	19
2	13	1,8	21	19	22
3	15	0,9	19,8	17	17
4	14	1,2	21	20	20
5	10	0,8	20	16	55
6	11	1,3	20,5	15	45
7	15	1,9	19,9	19	49
8	7	1	19,5	18	18
9	12	1,7	20	22	20
10	6	2	19,5	21	23
11	8	1,1	20,5	16	16
12	11	1,4	19,8	19	18
13	14,5	1,6	20,2	17	15
14	11,5	0,7	20,9	18	21
15	10,5	1,5	20,8	21	23
16	14,5	2	19,7	20	19
17	12	1,2	20,6	14	14
18	10,5	1,8	19,8	22	22
19	8,5	1,6	19,6	23	20
20	9	0,9	20,4	19	25
21	14,5	1,3	19,7	15	24
22	16	1,7	20,4	10	27
23	12,5	0,8	20,8	17	24
24	15,5	2	19,4	16	26
25	16	1,6	20,3	17	27
26	11,5	1,4	20,7	14	27
27	9,5	0,9	19,8	18	23
28	10	1	20,4	20	24
29	12,5	1,7	19,4	16	29
30	14	1,2	20	18	27

Задача №5. Определить абсолютную величину осадки фундамента мелкого заложения методом послойного суммирования. Варианты исходных данных приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

					Инженерно-геологические условия строительной площадки				
					ИГЭ-1	ИГЭ-2	ИГЭ-3	ИГЭ-4	ИГЭ-5

№ Варианта	Нагрузка, N	Ширина фундамента, b_f, м	Глубина заложения, d_1, м	Уровень подземных вод, WL_1, м	Толщина слоя, h, м	Удельный вес, γ, кН/м^3	Модуль деформации, E, МПа	Толщина слоя, h, м	Удельный вес, γ, кН/м^3	Модуль деформации, E, МПа	Толщина слоя, h, м	Удельный вес, γ, кН/м^3	Модуль деформации, E, МПа	Толщина слоя, h, м	Удельный вес, γ, кН/м^3	Модуль деформации, E, МПа	Толщина слоя, h, м	Удельный вес, γ, кН/м^3
1	1,5	2,4	1,8	15	4	17	15	5	18	12	3	15	20	2	17	16	6	19	20
2	1,2	2,2	2,8	10	6	19	25	3	16	15	2	14	18	4	16	19	7	20	21
3	1	2	2	12	8	18	18	4	17	18	5	16	21	3	15	15	5	18	19
4	0,9	1,9	1,6	18	5	16	12	6	19	14	4	17	12	5	19	18	8	18	22
5	1,1	2,1	2,1	16	7	15	13	2	18	12	6	16	10	6	14	14	9	17	19
6	1,3	2,4	1,7	12	6	14	14	5	17	15	2	15	22	4	16	17	5	16	17
7	1	1,5	1,8	10	4	15	12	8	16	16	4	17	20	6	15	16	6	19	19
8	0,8	1,6	1,6	11	7	17	18	6	17	17	3	18	12	5	18	20	9	16	21
9	0,9	1,8	1,9	15	3	14	17	5	18	15	5	15	21	9	16	17	5	18	20
10	1,2	1,2	2,5	14	8	19	15	7	16	14	4	16	12	10	15	18	8	18	19
11	1	2	2	16	10	18	19	10	17	16	2	15	22	4	17	16	4	19	18
12	1,3	2,5	1,6	10	9	15	24	9	15	19	4	14	12	3	16	17	3	18	27
13	0,9	1,8	1,7	11	6	16	14	5	18	20	3	16	20	5	15	19	5	20	20
14	1,1	2,4	1,8	9	5	14	16	6	17	15	2	15	12	4	18	18	6	17	17
15	1,5	2,5	2,7	12	7	17	21	8	14	18	5	18	21	6	16	18	7	19	22
16	1	2,1	2,5	15	8	18	18	5	19	20	4	16	12	3	17	22	10	16	21
17	0,7	1,5	1,7	11	5	15	17	7	16	17	2	14	15	5	18	17	5	18	20
18	0,9	1,7	1,8	8	6	17	19	6	17	18	3	15	20	4	16	19	4	20	21
19	1,2	2	1,9	12	5	16	18	5	18	15	4	16	21	6	17	18	3	19	23
20	1	1,9	1,9	10	4	15	20	6	16	19	6	19	22	5	18	20	6	18	17
21	1,5	2,5	2	6	5	14	16	4	17	15	2	17	20	4	16	17	5	16	19
22	0,7	1,5	1,6	5	3	17	19	5	18	20	5	19	21	10	17	21	8	20	20
23	1,1	1,7	1,7	4	6	19	18	7	16	19	3	16	20	3	18	19	4	16	21
24	0,8	1,6	1,6	12	5	15	15	5	17	17	5	15	22	5	19	17	5	20	17
25	1,3	2,7	3	13	6	19	20	3	18	16	6	17	20	6	16	24	7	20	25
26	1,7	3	3,7	15	5	20	19	7	19	21	4	16	21	4	17	19	8	19	21
27	0,9	1,7	2	10	3	16	17	5	17	18	5	15	19	5	18	20	5	21	24
28	1,4	2,5	2,3	8	4	14	15	3	18	18	2	19	22	3	16	17	6	16	19

Таблица 4

№ п.п.	№ ИГЭ	Наименование грунтов
1	ИГЭ-1	Суглинок туго-пластичный
2	ИГЭ-2	Супесь пластичная
3	ИГЭ-3	Песок средний крупности, средней плотности, влажный
4	ИГЭ-4	Песок мелкий. Средней плотности, водо-насыщенный
5	ИГЭ-5	Глина в полутвердом состоянии (водоупорный)
Примечание. Для всех вариантов, наименование грунтов (ИГЭ) одинаковое		

Таблица 5

$\xi = \frac{2z}{b}$	Коэффициент α для фундаментов							
	круглых	прямоугольных с соотношением сторон равным $\eta = l/b$						ленточных ($\eta > 10$)
		1	1.4	1.8	2.4	3.2	5	
0,0	1	1	1	1	1	1	1	1
0,4	0,949	0,96	0,972	0,975	0,976	0,977	0,977	0,977
0,8	0,756	0,8	0,848	0,866	0,876	0,879	0,881	0,881
1,2	0,547	0,606	0,682	0,717	0,739	0,749	0,754	0,755
1,6	0,39	0,449	0,532	0,578	0,612	0,629	0,639	0,642
2	0,285	0,336	0,414	0,463	0,505	0,530	0,545	0,55
2,4	0,214	0,257	0,325	0,374	0,419	0,449	0,470	0,477
2,8	0,165	0,201	0,260	0,304	0,349	0,383	0,410	0,420
3,2	0,130	0,160	0,210	0,251	0,294	0,329	0,360	0,374
3,6	0,106	0,131	0,173	0,209	0,250	0,285	0,319	0,337
4	0,087	0,091	0,145	0,176	0,214	0,248	0,285	0,306
4,4	0,073	0,108	0,128	0,150	0,185	0,518	0,255	0,280
4,8	0,062	0,077	0,105	0,130	0,161	0,192	0,230	0,258
5,2	0,053	0,067	0,091	0,113	0,141	0,170	0,208	0,239
5,6	0,046	0,058	0,079	0,099	0,124	0,152	0,189	0,223
6	0,040	0,051	0,070	0,087	0,110	0,136	0,173	0,208
6,4	0,036	0,045	0,062	0,077	0,099	0,122	0,158	0,196
6,8	0,031	0,040	0,055	0,064	0,088	0,110	0,145	0,185
7,2	0,028	0,036	0,049	0,062	0,080	0,100	0,133	0,175
7,6	0,024	0,032	0,044	0,056	0,072	0,091	0,123	0,166
8	0,022	0,029	0,040	0,051	0,066	0,084	0,113	0,158
8,4	0,021	0,026	0,037	0,046	0,060	0,077	0,105	0,150
8,8	0,019	0,024	0,033	0,042	0,055	0,071	0,098	0,143
9,2	0,017	0,022	0,031	0,039	0,051	0,065	0,091	0,137
9,6	0,016	0,020	0,028	0,036	0,047	0,060	0,085	0,132
10,0	0,015	0,019	0,026	0,033	0,043	0,056	0,079	0,126
10,4	0,014	0,017	0,024	0,031	0,040	0,052	0,074	0,122
10,8	0,013	0,016	0,022	0,029	0,037	0,049	0,069	0,117
11,2	0,012	0,015	0,021	0,027	0,035	0,045	0,065	0,113
11,6	0,011	0,014	0,020	0,025	0,033	0,042	0,061	0,109
12,0	0,010	0,013	0,018	0,023	0,031	0,040	0,058	0,106

Примечания: 1. Здесь l – длина фундамента, b – ширина фундамента. 2. Для фундаментов с подошвой в форме правильного многоугольника с площадью А значения α принимаются как для круглых фундаментов радиусом $r = A/\pi$. 3.