



**В. А. Калентьев**

**ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ  
ОПОР МОСТОВ.  
ФУНДАМЕНТЫ МЕЛКОГО  
ЗАЛОЖЕНИЯ**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Уральский государственный лесотехнический университет»  
(УГЛТУ)

Институт автомобильного транспорта и технологических систем  
Кафедра автомобильного транспорта (АТ)

В. А. Калентьев

# ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ ОПОР МОСТОВ. ФУНДАМЕНТЫ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Методические указания  
к выполнению курсовой работы  
для обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство»,  
по профилю «Автодорожные мосты и тоннели»  
очной и заочной форм обучения

Екатеринбург  
2020

Печатается по рекомендации методической комиссии АТ.  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».  
Протокол № 1 от 30 октября 2019 года.

Рецензент – заведующая кафедрой пожарной безопасности  
в строительстве ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС  
МЧС России», канд. техн. наук, д-р пед. наук, доцент  
О. А. Мокроусова

Редактор К. В. Смирнова  
Оператор компьютерной верстки Т. В. Упорова

---

Подписано в печать 22.09.20		Поз. 42
Плоская печать	Формат 60 × 84/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 2,66	Цена руб. коп.

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Сектор оперативной полиграфии УГЛТУ

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
1. Общие положения .....	4
2. Оценка инженерно-геологических условий строительной площадки .....	5
3. Проектирование фундамента мелкого заложения .....	7
3.1. Основные понятия и определения .....	7
3.2. Определение глубины заложения подошвы фундамента .....	9
3.3. Определение размеров фундамента мелкого заложения .....	10
3.4. Определение объема и веса фундамента .....	15
3.5. Определение объема и веса грунта, лежащего на уступах фундамента .....	17
3.6. Проверка несущей способности основания под подошвой центрально и внецентренно нагруженного фундамента .....	17
3.7. Определение осадки фундамента мелкого заложения .....	18
3.8. Проверка несущей способности подстилающего слоя грунта .....	22
3.9. Расчет фундамента мелкого заложения на сдвиг по подошве .....	23
3.10. Расчет фундамента мелкого заложения на опрокидывание .....	24
3.11. Проверка положения равнодействующей активных сил в фундаменте мелкого заложения .....	25
4. Варианты заданий на проектирование .....	26
5. Пример проектирования и расчета фундамента мелкого заложения ....	34
5.1. Вычисление физико-механических характеристик грунтов .....	34
5.2. Заключение по данным геологического разреза площадки строительства и выбор возможных вариантов фундаментов .....	35
5.3. Сбор нагрузок, действующих на фундамент мелкого заложения .....	36
5.4. Расчет и конструирование фундамента мелкого заложения .....	38
5.5. Определение осадки фундамента мелкого заложения и проверка несущей способности подстилающего слоя грунта .....	44
Список литературы .....	45

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для проведения занятий семинарского типа, организации самостоятельной работы, выполнения выпускной квалификационной работы обучающихся всех форм обучения по направлениям подготовки 08.03.01 и 08.04.01 «Строительство» (направленности (профилю) «Автодорожные мосты и тоннели»). Изучаемые дисциплины – «Основания и фундаменты автодорожных мостов», «Жизненный цикл мостовых сооружений и управление им» и «Аварии транспортных сооружений».

Методические указания составлены на основе:

- ФГОС ВО по направлениям 08.03.01 и 08.04.01 «Строительство», утвержденных приказами Минобрнауки Российской Федерации от 31 мая 2017 г. № 481 и № 482 соответственно;
- рабочей программы дисциплины «Основания и фундаменты автодорожных мостов» по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» (направленности (профилю) «Автодорожные мосты и тоннели»);
- рабочих программ дисциплин «Жизненный цикл мостовых сооружений и управление им» и «Аварии транспортных сооружений» по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» (направленности (профилю) «Автодорожные мосты и тоннели»);
- стандартов УГЛТУ СТВ 1.3.0.0-00-15 «Учебное издание. Основные положения» и СТВ 1.3.1.0-00-2015 «Учебная документация. Учебные издания. Учебно-методическое пособие. Основные положения».

Методические указания разработаны для выполнения контрольной работы и рассматривают вопросы проектирования фундамента мелкого заложения и свайного фундамента из висячих забивных призматических свай на основе оценки инженерно-геологических условий строительной площадки.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Обучающиеся выполняют контрольную работу на основании специальных заданий, выдаваемых каждому. По заданию требуется запроектировать фундамент для промежуточной опоры моста.

При выполнении контрольной работы рассматриваются 2–3 варианта фундаментов. Обязательным является вариант фундамента мелкого заложения, вариант фундамента из забивных призматических свай и вариант фундамента из буровых столбов с уширенной пятой. Другие варианты выбираются в зависимости от особенностей инженерно-геологических условий строительной площадки, конструктивных особенностей и размеров

опоры моста, величины нагрузок, действующих на фундамент. В качестве варианта может быть рассмотрен фундамент из свай-оболочек или фундамент в виде опускного колодца.

Расчет обязательных вариантов фундаментов производится по двум группам предельных состояний – по несущей способности и по деформациям.

В пояснительной записке приводятся все необходимые обоснования по каждому основному варианту фундамента, эскизы, расчетные схемы с необходимыми размерами и привязками. Расчеты сопровождаются текстовыми пояснениями и формулами. Записка пишется на стандартных белых листах бумаги  $210 \times 297$  мм с полями (слева 20 мм, справа, сверху и снизу – 5 мм). Каждый лист оформляется рамкой. Страницы нумеруются. Приводится список использованной литературы. Объем пояснительной записки – 25–30 листов.

Графическая часть выполняется карандашом на листе ватмана формата А1, на котором должны быть представлены разрез и план фундамента с привязкой к геологическому разрезу площадки, план ростверка и план свайного поля, армирование забивной призматической сваи со спецификацией арматуры или армирование свай-оболочки, если в качестве одного из вариантов рассчитывался фундамент на сваях-оболочках.

Защита контрольной работы состоит в ответах на вопросы руководителя работы с целью выяснения глубины и полноты проработки предъявленных материалов обучающимся.

Оценка контрольной работы производится руководителем с учетом качества содержания, оформления работы и качества ее защиты.

## 2. ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

По данным геологических изысканий приведены следующие геологические разрезы. Обучающийся, согласно варианту задания, должен вычислить следующие физико-механические характеристики грунта:

- удельный вес грунта,  $\text{кН/м}^3$ :

$$\gamma = \rho g, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность грунта,  $\text{т/м}^3$ ;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;

- удельный вес твердых частиц грунта,  $\text{кН/м}^3$ :

$$\gamma_s = \rho_s g, \quad (2)$$

где  $\rho_s$  – плотность твердых частиц грунта,  $\text{т/м}^3$ ;

- коэффициент пористости грунта:

$$e = (\rho_s/\rho) (1 + W) - 1, \quad (3)$$

где  $W$  – природная влажность грунта, д. е.;

- степень влажности грунта, д. е.:

$$S_r = (W\rho_s) / (e\rho_w), \quad (4)$$

где  $\rho_w = 1 \text{ т/м}^3$  – плотность воды;

- число пластичности, д. е.:

$$I_p = W_L - W_p, \quad (5)$$

где  $W_L$  – влажность на границе текучести, д. е.;

$W_p$  – влажность на границе пластичности, д. е.;

- показатель текучести, д. е.:

$$I_L = (W - W_p) / (W_L - W_p). \quad (6)$$

По степени влажности  $S_r$  различают грунты [1–3]:

- маловлажные ( $0 < S_r \leq 0,5$ );
- влажные ( $0,5 < S_r \leq 0,8$ );
- насыщенные водой ( $0,8 < S_r \leq 1,0$ ).

Глины и суглинки в зависимости от значения показателя текучести  $I_L$  могут находиться в следующих состояниях [1–3]:

- твердом ( $I_L < 0$ , когда  $W < W_p$ );
- полутвердом ( $0 \leq I_L \leq 0,25$ );
- тугопластичном ( $0,25 < I_L \leq 0,50$ );
- мягкопластичном ( $0,50 < I_L \leq 0,75$ );
- текучепластичном ( $0,75 < I_L \leq 1$ );
- текучее ( $I_L > 1$ , когда  $W > W_L$ ).

Супеси в зависимости от значения показателя текучести  $I_L$  могут находиться в следующих состояниях [1–3]:

- твердом ( $I_L < 0$ , когда  $W < W_p$ );
- пластичном ( $0 \leq I_L \leq 1$ );
- текучем ( $I_L > 1$ , когда  $W > W_L$ ).

Наибольшее влияние на свойства грунтов оказывает наличие глинистых частиц, поэтому грунты принято классифицировать по содержанию глинистых частиц (табл. 1).

Таблица 1

## Краткая классификация грунтов

Вид грунта	Содержание глинистых частиц по массе, %	Число пластичности $I_p$
Глина	> 30	> 0,17
Суглинок	30–10	0,17–0,07
Супесь	10–3	0,07–0,01
Песок	< 3	Не пластичен (< 0,01)

Модуль деформации грунта определяют по формуле, МПа:

$$E = \beta / m_v, \quad (7)$$

где  $\beta = 1 - 2\mu^2 / (1 - \mu)$  – коэффициент, активизирующий боковое расширение грунта;

$m_v = m_o / (1 + e)$  – коэффициент относительной сжимаемости, 1/МПа;

$m_o$  – коэффициент сжимаемости, 1/МПа.

Коэффициент Пуассона грунта  $\mu$  принимается равным:

– для глин и суглинков твердых и полутвердых  $\mu = 0,10–0,15$ , для тугопластичных  $\mu = 0,20–0,25$ ; для пластичных и текучепластичных  $\mu = 0,30–0,40$  и для текучих  $\mu = 0,45–0,50$ ;

– для супеси (в зависимости от консистенции)  $\mu = 0,15–0,30$ ;

– для песков  $\mu = 0,20–0,25$ .

По модулю деформации грунты подразделяются на:

– сильно сжимаемые ( $E \leq 5$  МПа);

– средне сжимаемые ( $5 \text{ МПа} < E \leq 20 \text{ МПа}$ );

– мало сжимаемые ( $E > 20$  МПа).

Вес грунта с учетом взвешивающего действия воды определяется по формуле, кН/м<sup>3</sup>:

$$\gamma_{sw} = g (\rho_s - \rho_w) / (1 + e). \quad (8)$$

### 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТА МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

#### 3.1. Основные понятия и определения

*Основанием* называют толщу природных напластований горных пород, которые воспринимают нагрузку от вышележащих конструкций и взаимодействуют с ними. Основания называют *естественными*, если они сложены природными грунтами или скальными породами в условиях

естественного залегания. Основания из предварительно уплотненных или укрепленных тем или иным способом грунтов называют *искусственными*.

Если основание состоит из одного слоя грунта, его называют *однородным*, если из нескольких слоев – *неоднородным*. Слой грунта, на который опирается фундамент, называется *несущим слоем*, а нижележащие слои – *подстилающими*.

*Фундаментом* называют часть опоры, находящуюся ниже поверхности грунта (на суше) или ниже самого низкого (меженного) уровня воды в водотоке (водоеме) и предназначенную для передачи нагрузок на основание. Различают *массивные фундаменты*, состоящие из одного несущего элемента (рис. 1, а) и *немассивные*, состоящие из группы (куста) свай разных видов (в том числе, забивных и буровых), объединенных в единую конструкцию плитой, называемой *ростверком* (рис. 1, б).

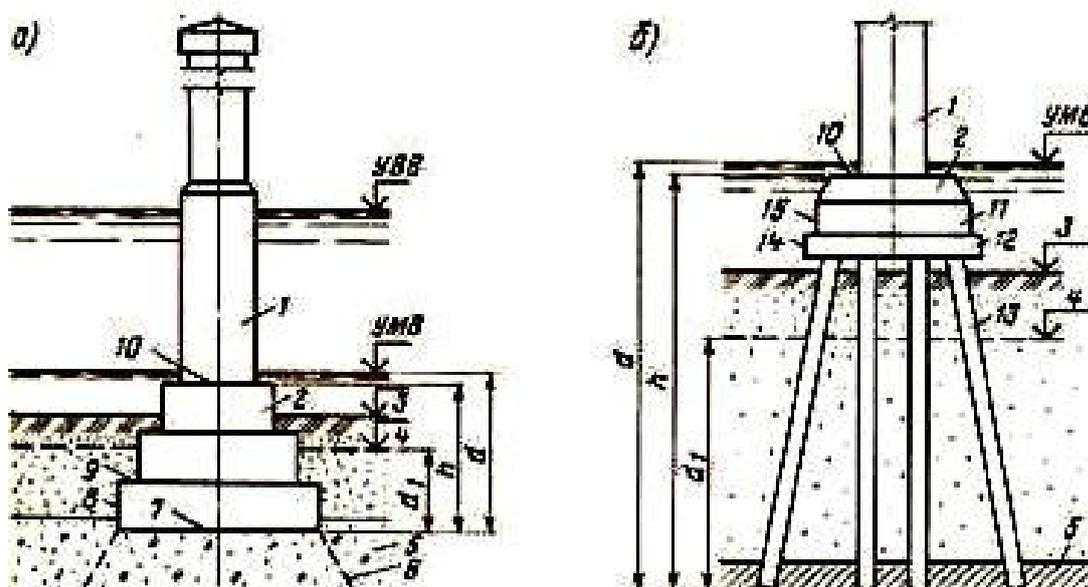


Рис. 1. Фундаменты опор моста:

- а – из одного несущего элемента; б – из куста несущих элементов;
- 1 – надфундаментная часть опоры; 2 – фундамент; 3 – поверхность грунта (дно водотока); 4 – уровень размыва; 5 – несущий слой грунта;
- 6 – условный контур основания; 7 – подошва фундамента;
- 8 – боковая грань фундамента; 9 – уступ; 10 – обрез фундамента; 11 – ростверк;
- 12 – тампонажный слой бетона; 13 – несущие элементы;
- 14 – подошва тампонажного слоя; 15 – боковая поверхность ростверка

Независимо от типа фундаментов и особенностей их конструкции принято называть *обрезом фундамента* плоскость его соприкосновения с надфундаментной частью опоры; *подошвой фундамента* – нижнюю плоскость его соприкосновения с грунтом основания; *высотой фундамента*  $h$  – расстояние от его подошвы или конца (низа) несущих элементов

до обреза; *глубиной заложения фундамента*  $d$  – расстояние от поверхности грунта или уровня воды в водоеме до подошвы фундамента или низа несущих элементов.

Под воздействием на фундамент вертикальных нагрузок, равномерно сжимающих грунты основания, происходят перемещения фундамента, называемые *осадкой*. При действии на фундаменты неравномерных сжимающих нагрузок и изгибающих моментов наблюдаются наклоны, называемые *кренами*. Воздействие значительных горизонтальных нагрузок на фундаменты приводит к их смещениям, называемым *сдвигами*.

### 3.2. Определение глубины заложения подошвы фундамента

При выборе глубины заложения фундаментов решается вопрос о несущем слое грунта и типе основания. На выбор глубины заложения фундаментов влияют три фактора: инженерно-геологические условия площадки; климатические особенности местности и их воздействие на верхние слои грунта; конструктивные особенности сооружения [3, 4].

Конструкция фундамента мелкого заложения определяется главным образом глубиной его заложения и размерами в уровне обреза и подошвы.

Глубину заложения назначают с учетом гидрогеологических условий. Наименьшая глубина заложения зависит от глубины промерзания грунтов и их размыва поверхностными водами. По промерзанию грунты подразделяются на *пучинистые* и *непучинистые*.

В пучинистых грунтах, к которым относятся все грунты, кроме скальных, крупнообломочных с песчаным заполнением, песков гравелистых крупных и средней крупности, глубина заложения фундаментов искусственных сооружений должна быть больше расчетной глубины промерзания на 0,25 м.

Расчетная глубина промерзания грунтов определяется по пп. 2.25–2.33 [5] по формуле, м:

$$d_f = k_h d_o \sqrt{M_t}, \quad (9)$$

где  $k_h$  – коэффициент, учитывающий влияние теплового режима эксплуатации сооружения, для неотапливаемых сооружений ( $k_h = 1,1$ );

$d_o$  – величина, принимаемая равной, м, для: суглинков и глин – 0,23; супесей, песков мелких и пылеватых – 0,28; песков гравелистых, крупных и средней крупности – 0,30; крупнообломочных грунтов – 0,34;

$M_t$  – безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зиму в данном районе строительства, принимаемый по СНиП по строительной климатологии и геофизике.

Фундаменты опор мостов недопустимо опирать на просадочные и заторфованные грунты, а также на глины и суглинки с показателем текучести  $I_L > 0,5$ . Такие грунты необходимо проходить опирая подошву фундаментов на расположенные ниже более прочные грунты с залеганием в них подошвы фундамента.

В непучинистых грунтах, кроме скальных, глубина заложения фундаментов должна быть не менее 1 м, считая от дневной поверхности грунта или дна водотока. В скальные породы фундамент заглубляют в прочные слои, способные воспринимать давления от сооружения не менее чем на 0,1 м.

При возможности размыва фундаменты должны быть заглублены ниже дна реки после размыва у данной опоры не менее чем на 2,5 м. Обрез фундаментов на поймах рек располагают на уровне дневной поверхности грунта (после размыва), а в руслах рек – на 0,5 м ниже низкого уровня межженных вод и не выше нижней поверхности льда в реке плюс 0,25 м; в судоходных пролетах должны быть обеспечены глубины для прохода судов около опор.

В несущий слой грунта подошва фундамента должна быть заглублена не менее чем на 0,5 м. Для опор, возводимых на суше, обрез фундамента назначают на 0,2–0,4 м ниже поверхности грунта.

### 3.3. Определение размеров фундамента мелкого заложения

Размеры фундамента в уровне его подошвы определяют в зависимости от величины передаваемых нагрузок и физико-механических свойств грунтов основания.

После назначения глубины заложения подошвы фундамента и отметки его обреза конструктивную площадь фундамента определяют по формуле, м<sup>2</sup>:

$$A_k = l_n b_n = (l_{on} + 2h_\phi \operatorname{tg}\alpha) (b_{on} + 2h_\phi \operatorname{tg}\alpha), \quad (10)$$

где  $l_n, b_n$  – длина и ширина подошвы фундамента, м;

$l_{on}, b_{on}$  – длина и ширина опоры по обрезу фундамента, м;

$h_\phi$  – высота фундамента, м;

$\alpha$  – угол развития фундамента.

Для того чтобы в теле фундамента возникали преимущественно сжимающие напряжения, угол  $\alpha$  принимают в пределах 25–35°. Фундаменты под массивные опоры мостов обычно сооружают ступенчатыми. В ступенчатых фундаментах высоту ступени  $h_{cm}$  назначают равной в пределах 0,7–2,5 м, ширину ступени  $b_{cm}$  – 0,4–1 м.

Класс бетона для монолитных фундаментов не ниже В20, для сборных – В25, при этом используется гидротехнический бетон.

Задавшись высотами ступеней фундамента  $h_{cm}$  так, чтобы в высоте фундамента  $h_{\phi}$  укладывалось целое число ступеней (высота ступени может быть одинаковой или различной), можно определить ширину каждой ступени, м, по формуле:

$$b_{cm} = h_{cm} \operatorname{tg}\alpha. \quad (11)$$

Количество ступеней в фундаменте принимают равным 2–4. Окончательно из конструктивных соображений размеры площади подошвы фундамента мелкого заложения, м, можно определить по формулам:

$$l_n = l_{on} + 2\sum_{i=1}^n b_{cm.i}; \quad b_n = b_{on} + 2\sum_{i=1}^n b_{cm.i}; \quad A_{\kappa} = l_n b_n, \quad (12)$$

где  $n$  – число ступеней в фундаменте;

$b_{cm.i}$  – фактическая ширина ступени фундамента (с учетом ее округления кратно 100 мм).

Полученная из конструктивных соображений для данного сооружения площадь подошвы фундамента мостовой опоры должна быть проверена расчетом. Площадь подошвы фундамента, необходимую по расчету, определяют по формуле центрального сжатия, исходя из условия обеспечения несущей способности основания под подошвой фундамента:

$$P \leq R/\gamma_n, \quad (13)$$

где  $P$  – среднее давление подошвы фундамента на основание, кПа;

$R$  – расчетное сопротивление основания осевому сжатию, кПа;

$\gamma_n = 1,4$  – коэффициент надежности по назначению сооружения.

Площадь подошвы фундамента, необходимую по расчету при назначенной глубине заложения, определенной из конструктивных соображений площади подошвы фундамента и значению  $R$  по формуле, м<sup>2</sup>:

$$A_P = \sum N_{o,I} / (P - \gamma_m d_f + \gamma_w h_w), \quad (14)$$

где  $\sum N_{o,I}$  – наибольшее значение расчетной внешней нагрузки, действующей на фундамент, учитывающее вес пролетных строений, опоры и подферменника, кН;

$\gamma_m = 20 \text{ кН/м}^3$  – усредненный вес фундамента и грунта на его уступах;

$d_f$  – глубина заложения подошвы фундамента, м;  
 $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$  – удельный вес грунтовой воды;  
 $h_w$  – превышение уровня грунтовых вод над подошвой фундамента, м.

Величина  $\gamma_w h_w$  учитывает гидростатическое давление грунтовой воды на фундамент. Если горизонт грунтовых вод расположен ниже подошвы фундамента, то  $h_w = 0$ . Гидростатическое давление грунтовых вод не учитывается, если фундамент заглублен в водонепроницаемый грунт.

В большинстве случаев фундаменты мелкого заложения являются внецентренно нагруженными, т. е. наряду с вертикальными нагрузками на них действуют изгибающие моменты и горизонтальные усилия, поэтому расчетную площадь, вычисленную по формуле (14), для таких фундаментов в ряде случаев дополнительно увеличивают на 10–15 %.

Расчетное сопротивление основания из нескального грунта осевому сжатию  $R$ , кПа ( $\text{тс/м}^2$ ), под подошвой фундамента мелкого заложения следует определять по формуле:

$$R = 1,7\{R_o[1 + k_1(b - 2)] + k_2\gamma(d_f - 3)\}, \quad (15)$$

где  $R_o$  – условное сопротивление грунта, кПа ( $\text{тс/м}^2$ ), принимаемое по таблицам 2–4;

$k_1, k_2$  – коэффициенты, принимаемые по таблице 5;

$b$  – ширина (меньшая сторона или диаметр) подошвы фундамента, м; при ширине более 6 м принимается  $b = 6$  м;

$\gamma$  – усредненное по слоям расчетное значение удельного веса грунта, расположенного выше подошвы фундамента, вычисленное без учета взвешивающего действия воды; допускается принимать  $\gamma = 19,62 \text{ кН/м}^3$  ( $2 \text{ тс/м}^3$ );

$d_f$  – глубина заложения подошвы фундамента, м.

Таблица 2

Условное сопротивление пылевато-глинистых (непросадочных) грунтов основания

Грунты	Коэффициент пористости $e$	Условное сопротивление $R_o$ пылевато-глинистых (непросадочных) грунтов основания, кПа ( $\text{тс/м}^2$ ), в зависимости от показателя текучести $I_L$						
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Супеси при $I_p \leq 5$	0,5	343 (35)	294 (30)	245 (25)	196 (20)	147 (15)	98 (10)	-----
	0,7	294 (30)	245 (25)	196 (20)	147 (15)	98 (10)	-----	-----

Окончание табл. 2

Грунты	Коэф- фициент порис- тости $e$	Условное сопротивление $R_o$ пылевато-глинистых (непросадочных) грунтов основания, кПа (тс/м <sup>2</sup> ), в зависимости от показателя текучести $I_L$						
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Суглинки при $10 \leq I_p \leq 15$	0,5	392 (40)	343 (35)	294 (30)	245 (25)	196 (20)	147 (15)	98 (10)
	0,7	343 (35)	294 (30)	245 (25)	196 (20)	147 (15)	98 (10)	-----
	1,0	294 (30)	245 (25)	196 (20)	147 (15)	98 (10)	-----	-----
Глины при $I_p \geq 20$	0,5	588 (60)	441 (45)	343 (35)	294 (30)	245 (25)	196 (20)	147 (15)
	0,6	490 (50)	343 (35)	294 (30)	245 (25)	196 (20)	147 (15)	98 (10)
	0,8	392 (40)	294 (30)	245 (25)	196 (20)	147 (15)	98 (10)	-----
	1,1	294 (30)	245 (25)	196 (20)	147 (15)	98 (10)	-----	-----

*Примечания:*

1. Для промежуточных значений  $I_L$ ,  $e$  величина  $R_o$  определяется по интерполяции.
2. При значениях числа пластичности  $I_p$  в пределах 5–10 и 15–20 следует принимать средние значения  $R_o$  супесей, суглинков и глин.

Таблица 3

Условное сопротивление песчаных грунтов  
средней плотности

Песчаные грунты и их влажность	Условное сопротивление $R_o$ песчаных грунтов средней плотности в основаниях, кПа (тс/м <sup>2</sup> )
Гравелистые и крупные независимо от их влажности	343 (35)
Средней крупности: маловлажные влажные и насыщенные водой	294 (30) 245 (25)
Мелкие: маловлажные влажные и насыщенные водой	196 (20) 147 (15)
Пылеватые: маловлажные влажные насыщенные водой	196 (20) 147 (15) 98 (10)

*Примечание*

Для плотных песков приведенные значения  $R_o$  следует увеличивать на 100 %, если их плотность определена статическим зондированием, и на 60 %, если их плотность определена по результатам лабораторных испытаний.

Таблица 4

Условное сопротивление крупнообломочных грунтов

Грунт	Условное сопротивление $R_o$ крупнообломочных грунтов в основаниях, кПа (тс/м <sup>2</sup> )
Галечниковый (щебенистый) из обломков пород: кристаллических осадочных	1 470 (150) 980 (100)
Гравийный (дресвяной) из обломков пород: кристаллических осадочных	785 (80) 490 (50)

*Примечание*

Приведенные в таблице 4 условные сопротивления  $R_o$  даны для крупнообломочных грунтов с песчаным заполнителем. Если в крупнообломочном грунте содержится свыше 40 % глинистого заполнителя, то значения  $R_o$  для такого грунта должны приниматься по таблице 2 в зависимости от  $I_p$ ,  $I_L$  и  $e$ .

Таблица 5

Коэффициенты грунтов

Грунт	Коэффициенты	
	$k_1, м^{-1}$	$k_2$
Гравий, галька, песок гравелистый крупный и средней крупности	0,1	3,0
Песок мелкий	0,08	2,5
Песок пылеватый, супесь	0,06	2,0
Суглинок и глина твердые и полутвердые	0,04	2,0
Суглинок и глина тугопластичные и мягкопластичные	0,02	1,5

Величину условного сопротивления  $R_o$ , кПа (тс/м<sup>2</sup>), для твердых супесей, суглинков и глин определяют по формуле:

$$R_o = 1,5R_{nc} \quad (16)$$

и принимают: для супесей – не более 981 (100); для суглинков – 1 962 (200); для глин – 2 943 (300) [6], где  $R_{nc}$  – предел прочности на одноосное сжатие образцов глинистого грунта природной влажности, кПа (тс/м<sup>2</sup>).

Расчетное сопротивление осевому сжатию оснований из невыветрелых скальных грунтов  $R$ , кПа (тс/м<sup>2</sup>), определяют по формуле:

$$R = R_c/\gamma_g, \quad (17)$$

где  $R_c$  – предел прочности на одноосное сжатие образцов скального грунта, кПа (тс/м<sup>2</sup>);

$\gamma_g$  – коэффициент надежности по грунту, принимаемый равным 1,4.

При отсутствии результатов статических испытаний грунтов штампами допускается значение  $R$  принимать для слабо выветрелых и выветрелых скальных грунтов – по формуле (17), принимая значение  $R_c$  с понижающим коэффициентом, равным соответственно 0,6 и 0,3; для сильно выветрелых скальных грунтов – по формуле (15) и таблице 4 как для крупнообломочных грунтов.

При определении расчетного сопротивления оснований из нескальных грунтов по формуле (15) заглубление фундамента мелкого заложения следует принимать для промежуточных опор мостов – от поверхности грунта у опоры на уровне срезки в пределах контура фундамента, а в русле рек – от дна водотока у опоры после понижения его уровня на глубину общего и половину местного размыва грунта при расчетном расходе.

После определения  $A_p$  по формуле (14) сравниваем ее с конструктивной площадью  $A_k$ , найденной по формуле (12). Должно выполняться условие:

$$|[(A_p - A_k) / A_p]| 100 \% \leq 10 \%. \quad (18)$$

Если условие (18) не выполняется, то необходимо увеличить глубину заложения подошвы фундамента, а при новой высоте фундамента назначить размеры ступеней и определить площадь его подошвы по формуле (12). Затем следует пересчитать расчетное сопротивление грунта  $R$  и найти расчетную площадь подошвы фундамента. В большинстве случаев расчет приходится повторять 2-3 раза. Если же расчетная площадь, полученная по формуле (14), получилась меньше конструктивной, то расчет продолжать не следует и размеры фундамента принимают окончательно найденными из расчета по формуле (12).

После того как выполнено условие (18) корректируют размеры ступеней и определяют фактическую площадь фундамента.

### 3.4. Определение объема и веса фундамента

Определив все размеры фундамента, вычисляют его собственный вес, кН, по формуле:

$$N_{\phi. II} = V_{\phi} \gamma_{\phi}, \quad N_{\phi. I} = \gamma_f N_{\phi. II}, \quad (19)$$

где  $V_{\phi}$  – объем фундамента, м<sup>3</sup>;

$\gamma_{\phi} = 24-25$  кН/м<sup>3</sup> – удельный вес бетона;

$N_{\phi. I}$  – вес фундамента с учетом коэффициента надежности по нагрузке;

$\gamma_f = 1,2$  – коэффициент надежности по нагрузке.

Если фундамент находится в зоне действия грунтовых вод, необходимо производить расчет веса фундамента с учетом взвешивающего действия воды.

Объем фундамента в зависимости от числа ступеней определяют по формулам:

- двухступенчатый фундамент с одинаковыми размерами ступеней:

$$V_{\phi} = [b_n l_n + (b_n - 2b_{cm}) (l_n - 2b_{cm})] h_{cm}, \quad (20)$$

- трехступенчатый фундамент с одинаковыми размерами ступеней:

$$V_{\phi} = [b_n l_n + (b_n - 2b_{cm}) (l_n - 2b_{cm}) + (b_n - 4b_{cm}) (l_n - 4b_{cm})] h_{cm}, \quad (21)$$

- четырехступенчатый фундамент с одинаковыми размерами ступеней:

$$V_{\phi} = [b_n l_n + (b_n - 2b_{cm}) (l_n - 2b_{cm}) + (b_n - 4b_{cm}) (l_n - 4b_{cm}) + (b_n - 6b_{cm}) (l_n - 6b_{cm})] h_{cm}, \quad (22)$$

- двухступенчатый фундамент с различными размерами ступеней:

$$V_{\phi} = b_n l_n h_{cm.1} + (b_n - 2b_{cm.1}) (l_n - 2b_{cm.1}) h_{cm.2}, \quad (23)$$

- трехступенчатый фундамент с различными размерами ступеней:

$$V_{\phi} = b_n l_n h_{cm.1} + (b_n - 2b_{cm.1}) (l_n - 2b_{cm.1}) h_{cm.2} + (b_n - 2b_{cm.1} - 2b_{cm.2}) (l_n - 2b_{cm.1} - 2b_{cm.2}) h_{cm.3}, \quad (24)$$

- четырехступенчатый фундамент с различными размерами ступеней:

$$V_{\phi} = b_n l_n h_{cm.1} + (b_n - 2b_{cm.1}) (l_n - 2b_{cm.1}) h_{cm.2} + (b_n - 2b_{cm.1} - 2b_{cm.2}) (l_n - 2b_{cm.1} - 2b_{cm.2}) h_{cm.3} + (b_n - 2b_{cm.1} - 2b_{cm.2} - 2b_{cm.3}) (l_n - 2b_{cm.1} - 2b_{cm.2} - 2b_{cm.3}) h_{cm.4}, \quad (25)$$

где  $b_n$  и  $l_n$  – ширина и длина подошвы фундамента, м;

$h_{cm}$  и  $b_{cm}$  – высота и ширина ступени фундамента при одинаковых размерах ступени, м;

$h_{cm.1}$ ,  $h_{cm.2}$ ,  $h_{cm.3}$ ,  $h_{cm.4}$  – высота ступеней фундамента (нумерация ступеней начинается от подошвы фундамента), м;

$b_{cm.1}$ ,  $b_{cm.2}$ ,  $b_{cm.3}$  – ширина ступеней фундамента, м.

### 3.5. Определение объема и веса грунта, лежащего на уступах фундамента

Вес грунта, кН/м<sup>3</sup>, определяют по формуле:

$$N_{зр. II} = V_{зр} \gamma_{зр}, \quad N_{зр. I} = \gamma_f N_{зр. II}, \quad (26)$$

где  $V_{зр}$  – объем грунта, лежащего на ступенях фундамента, м<sup>3</sup>;

$\gamma_{зр}$  – удельный вес грунта, расположенного выше подошвы фундамента, кН/м<sup>3</sup>; если фундамент заложен в нескольких грунтах, то принимается средний вес грунта;

$N_{зр. I}$  – вес грунта с учетом коэффициента по нагрузке;

$\gamma_f = 1,2$  – коэффициент надежности по нагрузке.

Объем грунта:

$$V_{зр} = b_n l_n d_f - V_\phi - A_{on} (d_f - h_\phi), \quad (27)$$

где  $b_n, l_n, d_f$  – соответственно ширина, длина подошвы фундамента и глубина заложения подошвы фундамента, м;

$V_\phi$  – объем фундамента, м<sup>3</sup>;

$A_{on}$  – площадь опоры, расположенной ниже поверхности земли, м<sup>2</sup>;

$h_\phi$  – высота фундамента, м.

Если обрез фундамента расположен выше поверхности земли, то последнее слагаемое в формуле (27) не учитывают, а учитывают объем фундамента, расположенный ниже поверхности грунта.

### 3.6. Проверка несущей способности основания под подошвой центрально и внецентренно нагруженного фундамента

После определения веса фундамента и грунта на его уступах проверяют условие:

$$P = (\sum N_{o. I} + N_{\phi. I} + N_{зр. I}) / A_\phi \leq R / \gamma_n, \quad (28)$$

где  $P$  – среднее давление подошвы фундамента на основание, кПа;

$N_{o. I}$  – внешняя нагрузка от веса пролетных строений, опоры, фундамента и грунта, лежащего на его уступах, кН;

$A_\phi$  – площадь подошвы фундамента, м<sup>2</sup>;

$\gamma_n = 1,4$  – коэффициент надежности по назначению сооружения;

$R$  – расчетное сопротивление основания из нескальных или скальных грунтов осевому сжатию, кПа, определяемое по формуле (15).

Значение расчетного сопротивления грунтов основания осевому сжатию  $R$ , кПа, определяется исходя из окончательно назначенных размеров подошвы фундамента и глубины его заложения.

При проектировании внецентренно нагруженных фундаментов принимают, что реактивное давление, кПа, распределяется по подошве жестких фундаментов по линейному закону, а его максимальное и минимальное значение определяют по формуле:

$$p = (\sum N_{o.I} + N_{\phi.I} + N_{zp.I}) / A_{\phi} \pm M_x / W_x \pm M_y / W_y \leq \gamma_c R / \gamma_n, \quad (29)$$

где  $A_{\phi}$  – площадь подошвы фундамента, м<sup>2</sup>;

$M_x, M_y$  – моменты относительно главных центральных осей подошвы фундамента, кН·м;

$W_x, W_y$  – моменты сопротивления подошвы фундамента относительно главных осей, м<sup>3</sup>;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,0, кроме следующих случаев, при которых следует принимать  $\gamma_c = 1,2$ : фундамент опирается на скальный грунт; фундамент опирается на нескальный грунт и его расчет производится с учетом одной или нескольких нагрузок и воздействий от торможения, горизонтальных ударов подвижного состава, давлений ветра и льда, навала судов, изменения температуры.

### 3.7. Определение осадки фундамента мелкого заложения

Для обеспечения нормальных условий эксплуатации мостов осадки их фундаментов не должны превышать значений, установленных в СП 22.13330.2016 и СП 35.13330.2011 [5, 6]. Допускаемые предельные смещения не должны превышать (см): полная равномерная осадка опоры –  $1,5\sqrt{L}$ ; разность полных осадок смежных опор –  $0,75\sqrt{L}$ ; горизонтальное смещение верха опоры –  $0,5\sqrt{L}$ , где  $L$  – длина меньшего из примыкающих к опоре пролетов (м), но не менее 25 м.

Осадку фундамента  $S$  определяют от действия нормативных нагрузок. Конечная осадка основания  $S$ , м, с использованием расчетной схемы линейно-деформируемого полупространства определяется согласно СП 22.13330.2016 [5] и вычисляется по формуле:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n (\sigma_{zp,i} h_i) / E_i, \quad (30)$$

где  $n$  – число слоев, на которые разбита сжимаемая толща;

$\beta$  – безразмерный коэффициент, равный 0,8;

$\sigma_{zp, i}$  – среднее значение дополнительного вертикального напряжения в  $i$ -м слое грунта, кПа, 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, м, и модуль деформации  $i$ -го слоя грунта, МПа; причем  $h_i \leq 0,4b_n$ ,  $b_n$  – меньшая сторона подошвы фундамента.

Распределение вертикальных нормальных напряжений по глубине основания принимается в соответствии со схемой на рисунке 2.

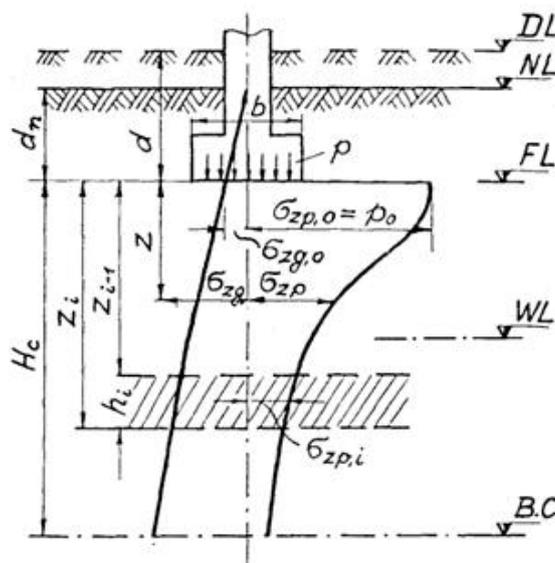


Рис. 2. Схема распределения вертикальных напряжений в линейно-деформируемом полупространстве

Дополнительные вертикальные напряжения на глубине  $z$  от подошвы фундамента:  $\sigma_{zp}$  – по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, определяются по формуле, кПа:

$$\sigma_{zp} = \alpha P_o, \quad (31)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, принимаемый [5] (табл. 6) в зависимости от соотношения сторон подошвы прямоугольного фундамента  $\eta = l_n/b_n$  и относительной глубины  $\zeta = 2z/b_n$ ,  $b_n$  – меньшая сторона подошвы фундамента;

$P_o = P - \sigma_{zg, o}$  – дополнительное вертикальное давление на основание, кПа (для фундаментов шириной  $b_n \geq 10$  м принимается  $P_o = P$ );

$P$  – среднее давление под подошвой фундамента, кПа;

$\sigma_{zg, o} = \gamma d_f$  – вертикальное напряжение от собственного веса грунта на уровне подошвы фундамента, кПа;

$\gamma$  – удельный вес грунта, кН/м<sup>3</sup>;

$d_f$  – глубина заложения подошвы фундамента, м.

Таблица 6

Коэффициент  $\alpha$  для фундаментов

$\zeta = 2z/b_n$	Коэффициент $\alpha$ для фундаментов							
	круглых	прямоугольных с соотношением сторон $\eta = l_n/b_n$						ленточных $\eta \geq 10$
		1,0	1,4	1,8	2,4	3,2	5,0	
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,4	0,949	0,960	0,972	0,975	0,976	0,977	0,977	0,977
0,8	0,756	0,800	0,848	0,886	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	0,390	0,449	0,532	0,578	0,612	0,629	0,639	0,642
2,0	0,285	0,336	0,414	0,463	0,505	0,530	0,545	0,550
2,4	0,214	0,257	0,325	0,374	0,419	0,449	0,470	0,447
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	0,087	0,108	0,145	0,176	0,214	0,248	0,285	0,306
4,4	0,073	0,091	0,123	0,150	0,185	0,218	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	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	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. В таблице 6 обозначено:  $b_n$  – ширина или диаметр подошвы фундамента,  $l_n$  – длина подошвы фундамента.

2. Для фундаментов, имеющих подошву в форме правильного прямоугольника с площадью  $A$ , значения  $\alpha$  принимаются как для круглых фундаментов радиусом  $r = \sqrt{A/\pi}$ .

3. Для промежуточных значений  $\zeta$  и  $\eta$  коэффициент  $\alpha$  определяется по интерполяции.

Вертикальное напряжение от собственного веса грунта  $\sigma_{zg}$  на границе слоя, расположенного на глубине  $z$  от подошвы фундамента, определяется по формуле:

$$\sigma_{zg} = \sigma_{zg, o} + \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i, \quad (32)$$

где  $\gamma_i$  и  $h_i$  – удельный вес ( $\text{кН/м}^3$ ) и толщина  $i$ -го слоя грунта (м) соответственно.

На рисунке 2  $DL$  – отметка планировки;  $NL$  – отметка поверхности природного рельефа;  $FL$  – отметка подошвы фундамента;  $WL$  – уровень подземных вод;  $B.C$  – нижняя граница сжимаемой толщи;  $d$  и  $d_n$  – глубина заложения фундамента соответственно от уровня планировки и поверхности природного рельефа;  $b$  – ширина фундамента;  $P$  – среднее давление под подошвой фундамента;  $P_o$  – дополнительное давление на основание;  $\sigma_{zg}$ ,  $\sigma_{zg, o}$  – вертикальное напряжение от собственного веса грунта на глубине  $z$  от подошвы фундамента и на уровне подошвы;  $\sigma_{zp}$ ,  $\sigma_{zp, o}$  – дополнительное вертикальное напряжение от внешней нагрузки на глубине  $z$  от подошвы фундамента и на уровне подошвы;  $H_c$  – глубина сжимаемой толщины.

Удельный вес грунтов, залегающих ниже уровня подземных вод, но выше водоупорного слоя грунта, должен приниматься с учетом взвешивающего действия воды. При определении  $\sigma_{zg}$  в водоупорном слое грунта следует учитывать давление воды, расположенной выше рассматриваемой глубины слоя.

Нижняя граница сжимаемой толщи основания принимается равной на глубине  $z = H_c$ , где выполняется условие:

$$\sigma_{zp} = 0,2\sigma_{zg}, \quad (33)$$

где  $\sigma_{zp}$  – дополнительное вертикальное напряжение,  $\text{кПа}$ , на глубине  $z = H_c$  по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента;

$\sigma_{zg}$  – вертикальные напряжения от собственного веса грунта на глубине  $z = H_c$ ,  $\text{кПа}$ , по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента.

Если найденная по указанному выше условию нижняя граница сжимаемой толщи находится в слое грунта с модулем деформации  $E \leq 5 \text{ МПа}$  или такой слой залегает непосредственно ниже глубины  $z = H_c$ , нижняя граница сжимаемой толщи определяется исходя из условия:

$$\sigma_{zp} = 0,1\sigma_{zg}. \quad (34)$$

Если в зоне сжимаемой толщи находится слой грунта с меньшим чем у верхних слоев модулем деформации  $E$ , то производят проверку несущей способности подстилающего слоя грунта [6].

### 3.8. Проверка несущей способности подстилающего слоя грунта

Проверку несущей способности подстилающего слоя грунта производят по формуле:

$$\gamma(d + z_i) + \alpha(P - \gamma d_f) \leq R/\gamma_n, \quad (35)$$

где  $\gamma$  – среднее (по слоям) значение расчетного удельного веса, расположенного над кровлей проверяемого подстилающего слоя грунта; допускается принимать  $\gamma = 19,62 \text{ кН/м}^3$ ;

$z_i$  – расстояние от подошвы фундамента до поверхности проверяемого подстилающего слоя грунта, м;

$\alpha$  – коэффициент, принимаемый по таблице 7;

$P$  – среднее давление на грунт, действующее под подошвой фундамента мелкого заложения, кПа;

$d_f$  – заглубление подошвы фундамента мелкого заложения от расчетной поверхности грунта, м, принимаемое согласно [6];

$R$  – расчетное сопротивление подстилающего грунта, кПа, определяемое согласно СП 35.13330.2011 [6] или по формуле (15) для глубины расположения кровли проверяемого слоя грунта;  $\gamma_n = 1,4$  – коэффициент надежности по назначению сооружения.

Таблица 7

Коэффициент  $\alpha$  для фундаментов

$z_i/b_n$	Коэффициент $\alpha$ для фундаментов												
	круг- лых	прямоугольных (в зависимости от отношения сторон его подошвы $l_n/b_n$ )											
		1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8	3,2	4,0	5,0	$\geq 10$
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,2	0,949	0,960	0,968	0,972	0,974	0,975	0,976	0,976	0,977	0,977	0,977	0,977	0,977
0,4	0,756	0,800	0,830	0,848	0,859	0,866	0,870	0,875	0,972	0,879	0,880	0,881	0,881
0,6	0,547	0,606	0,651	0,682	0,703	0,717	0,727	0,757	0,746	0,749	0,753	0,754	0,755
0,8	0,390	0,449	0,496	0,532	0,558	0,578	0,593	0,612	0,623	0,630	0,636	0,639	0,642
1,0	0,285	0,334	0,378	0,414	0,441	0,463	0,482	0,505	0,520	0,529	0,540	0,545	0,550
1,2	0,214	0,257	0,294	0,325	0,352	0,374	0,392	0,419	0,437	0,449	0,462	0,470	0,477
1,4	0,165	0,201	0,232	0,260	0,284	0,304	0,321	0,350	0,369	0,383	0,400	0,410	0,420
1,6	0,130	0,160	0,187	0,210	0,232	0,251	0,267	0,294	0,314	0,329	0,348	0,360	0,374
1,8	0,106	0,130	0,153	0,173	0,192	0,209	0,224	0,250	0,270	0,285	0,305	0,320	0,337

$z_i/b_n$	Коэффициент $\alpha$ для фундаментов												
	круг- лых	прямоугольных (в зависимости от отношения сторон его подошвы $l_n/b_n$ )											
		1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8	3,2	4,0	5,0	$\geq 10$
2,0	0,087	0,108	0,127	0,145	0,161	0,176	0,189	0,214	0,233	0,241	0,270	0,285	0,304
2,2	0,073	0,090	0,107	0,122	0,137	0,150	0,163	0,185	0,208	0,218	0,239	0,256	0,280
2,4	0,062	0,077	0,092	0,105	0,118	0,130	0,141	0,161	0,178	0,192	0,213	0,230	0,258
2,6	0,053	0,066	0,079	0,091	0,102	0,112	0,123	0,141	0,157	0,170	0,191	0,208	0,239
2,8	0,046	0,058	0,069	0,079	0,089	0,099	0,108	0,124	0,139	0,152	0,172	0,189	0,228
3,0	0,040	0,051	0,060	0,070	0,078	0,087	0,095	0,110	0,124	0,136	0,155	0,172	0,208
3,2	0,036	0,045	0,053	0,062	0,070	0,077	0,085	0,098	0,111	0,122	0,141	0,158	0,190
3,4	0,032	0,040	0,048	0,055	0,062	0,069	0,076	0,088	0,100	0,110	0,128	0,144	0,184
3,6	0,028	0,036	0,042	0,049	0,056	0,062	0,068	0,080	0,090	0,100	0,117	0,133	0,175
3,8	0,024	0,032	0,038	0,044	0,050	0,056	0,062	0,072	0,082	0,091	0,107	0,123	0,166
4,0	0,022	0,029	0,035	0,040	0,046	0,051	0,056	0,066	0,075	0,084	0,095	0,113	0,158
4,2	0,021	0,026	0,031	0,037	0,042	0,048	0,051	0,060	0,069	0,077	0,091	0,105	0,150
4,4	0,019	0,024	0,029	0,034	0,038	0,042	0,047	0,055	0,063	0,070	0,084	0,098	0,144
4,6	0,018	0,022	0,026	0,031	0,035	0,039	0,043	0,051	0,058	0,065	0,078	0,091	0,137
4,8	0,016	0,020	0,024	0,028	0,032	0,036	0,040	0,047	0,054	0,060	0,072	0,085	0,132
5,0	0,015	0,019	0,022	0,026	0,030	0,033	0,037	0,044	0,050	0,056	0,067	0,079	0,126

Значение коэффициента  $\alpha$  принимается по таблице 6 в зависимости от отношения  $z_i/b_n$  – для круглого и от отношений  $z_i/b_n$  и  $l_n/b_n$  – для прямоугольного в плане фундамента.

### 3.9. Расчет фундамента мелкого заложения на сдвиг по подошве

При расчете фундаментов опор мостов на устойчивость против сдвига по основанию сила  $Q_r$  стремится сдвинуть фундамент, а сила его трения о грунт  $Q_z$  (по подошве фундамента) сопротивляется сдвигу. Сила

$$Q_z = \mu \sum N_{o.1},$$

где  $\sum N_{o.1}$  – суммарная внешняя нагрузка от веса пролетных строений, опоры, фундамента и грунта, лежащего на его уступах;

$\mu$  – коэффициент фундамента по грунту.

Устойчивость фундамента против сдвига следует проверять по формуле:

$$Q_r \leq (m/\gamma_n) Q_z, \tag{36}$$

где  $Q_r$  – сдвигающая сила, равная сумме проекций сдвигающих сил на направление возможного сдвига, кН;

$m$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным 0,9;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по назначению, принимаемый равным 1,1 при расчете в стадии постоянной эксплуатации и 1,0 – при расчетах в стадии строительства;

$Q_z$  – удерживающая сила, равная сумме проекций удерживающих сил на направление возможного сдвига, кН.

При расчете фундаментов мелкого заложения на сдвиг по подошве необходимо принимать следующие значения коэффициентов трения кладки  $\mu$  о поверхность [6]:

скальных грунтов с омыливающейся поверхностью (глинистых известняков, сланцев и т. п.) и глин:

а) во влажном состоянии .....	0,25
б) в сухом состоянии .....	0,30
суглинков и супесей .....	0,30
песков .....	0,40
гравийных и галечниковых грунтов .....	0,50
скальных грунтов с неомыливающейся поверхностью .....	0,60

### 3.10. Расчет фундамента мелкого заложения на опрокидывание

Расчет фундамента на опрокидывание производят по формуле:

$$M_u \leq (m/\gamma_n) M_z, \quad (37)$$

где  $M_u$  – момент опрокидывающих сил относительно оси возможного поворота (опрокидывания) конструкции, проходящей по крайним точкам опирания, кН·м;

$m$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным при проверке конструкций, опирающихся на отдельные опоры, в стадии строительства – 0,95; в стадии постоянной эксплуатации – 1,0; при проверке сечений бетонных конструкций и фундаментов на скальных основаниях – 0,9; на нескальных основаниях – 0,8;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по назначению, принимаемый равным 1,1 при расчете в стадии постоянной эксплуатации, и 1,0 – при расчетах в стадии строительства;

$M_z$  – момент удерживающих сил относительно той же оси, кН·м.

Опрокидывающие силы следует принимать с коэффициентами надежности по нагрузке больше единицы. Удерживающие силы следует принимать с коэффициентами надежности по нагрузке: для постоянных нагрузок  $\gamma_f < 1$ ; для временной вертикальной подвижной нагрузки  $\gamma_f = 1$ .

### 3.11. Проверка положения равнодействующей активных сил в фундаменте мелкого заложения

Чтобы исключить появление растягивающих напряжений в подошве фундамента мелкого заложения при действии на него внецентренно приложенных нагрузок требуется производить проверку *равнодействующей активных сил* по отношению к центру площади подошвы фундамента, характеризуемой относительным эксцентриситетом, который должен быть ограничен значениями, указанными в таблице 8 [6].

Таблица 8

Наибольший относительный эксцентриситет

Расположение мостов	Наибольший относительный эксцентриситет $e/r_o$ , м, для			
	промежуточных опор при действии		устоев при действии	
	только постоянных нагрузок	постоянных и временных нагрузок в наиболее невыгодном сочетании	только постоянных нагрузок	постоянных и временных нагрузок в наиболее невыгодном сочетании
На железных дорогах общей сети и промышленных предприятиях, на обособленных путях метрополитена	0,1	1,0	0,5	0,6
На автомобильных дорогах (включая дороги промышленных предприятий и внутрихозяйственные), на улицах и дорогах городов, поселков и сельских населенных пунктов: большие и средние малые	0,1	1,0	0,8	1,0 1,2

Эксцентриситет  $e_o$ , м, и радиус ядра сечения  $r$  (у его подошвы), м, определяют по формулам:

$$e_o = M/N; \quad r = W/A_\phi, \quad (38)$$

где  $M$  – момент сил, действующих относительно главной центральной оси подошвы фундамента, Н·м;

$N$  – равнодействующая вертикальных сил, Н;

$W$  – момент сопротивления подошвы фундамента для менее напряженного ребра, м<sup>3</sup>;

$A_\phi$  – площадь подошвы фундамента, м<sup>2</sup>.

## 4. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

В таблице 9 приведены варианты заданий на проектирование.

Таблица 9

Варианты заданий на проектирование

Ва- ри- ант	A, м	B, м	H, м	$h_1$ , м	$h_2$ , м	$h_3$ , м	$C_1$ , м	$P_1$ , м	$P_2$ , м	$T_1$ , м	$T_2$ , м	$T_3$ , м	№ гео- логич. разреза
1	12,0	1,8	8,5	0,50	0,40	2,50	0,40	1 500	1 200	150	250	800	1
2	12,0	1,5	7,6	0,40	0,30	2,20	0,35	1 300	1 050	130	170	600	4
3	8,0	1,5	9,5	0,30	0,25	1,90	0,25	800	750	100	130	450	6
4	7,5	1,7	11,5	0,40	0,30	1,70	0,20	900	800	90	120	400	3
5	8,0	1,8	12,0	0,45	0,35	2,00	0,40	750	670	140	280	700	8
6	5,3	1,2	8,0	0,30	0,20	1,80	0,25	890	780	80	160	350	10
7	10,4	1,5	10,5	0,45	0,35	2,30	0,45	1 350	1 230	90	270	750	7
<b>8</b>	<b>12,0</b>	<b>2,5</b>	<b>14,5</b>	<b>0,60</b>	<b>0,40</b>	<b>3,20</b>	<b>0,50</b>	<b>1 700</b>	<b>1 550</b>	<b>270</b>	<b>230</b>	<b>950</b>	<b>3</b>
9	5,3	1,2	8,5	0,35	0,20	2,00	0,25	800	630	110	140	340	5
10	10,4	1,7	12,5	0,55	0,40	2,70	0,30	1 050	920	100	210	680	11
11	12,0	2,5	13,5	0,65	0,35	2,40	0,35	1 350	1 210	130	270	780	13
12	8,0	1,7	8,5	0,45	0,40	2,10	0,30	940	860	140	190	820	8
13	7,5	1,7	6,5	0,35	0,30	2,30	0,25	980	740	110	170	610	9
14	5,3	1,2	7,5	0,40	0,25	1,40	0,20	690	510	70	110	300	3
15	12,0	1,7	9,5	0,65	0,45	2,30	0,35	1 650	1 430	160	290	1 100	1
16	10,4	1,8	15,0	0,55	0,35	2,40	0,40	1 210	1 100	120	230	850	6
17	7,8	1,7	6,8	0,40	0,35	2,20	0,35	950	800	180	250	650	7
18	8,4	1,6	8,5	0,45	0,40	1,80	0,40	1 200	1 050	190	310	730	4
19	6,6	1,5	10,0	0,35	0,30	1,40	0,25	750	590	210	240	580	8
20	10,4	1,9	12,5	0,45	0,40	2,30	0,50	1 320	1 210	260	360	730	14
21	5,3	1,4	6,5	0,35	0,30	1,40	0,35	800	690	130	290	500	4
22	8,0	1,7	11,5	0,40	0,25	1,60	0,30	1 150	1 020	190	320	640	6
23	12,0	2,2	14,0	0,55	0,35	2,40	0,45	1 450	1 170	210	310	820	11
24	10,4	1,8	12,5	0,50	0,35	2,10	0,25	1 320	1 100	170	280	760	2
25	7,2	1,6	8,5	0,45	0,30	1,40	0,40	1 070	890	150	190	590	8
26	8,4	1,3	6,3	0,40	0,35	1,70	0,35	980	760	190	170	720	11
27	7,5	1,5	7,8	0,35	0,25	1,50	0,25	840	680	210	160	650	5
28	5,3	1,3	8,1	0,35	0,20	1,30	0,20	690	500	150	130	530	12
29	7,5	1,6	7,6	0,40	0,25	1,40	0,35	780	630	140	240	670	6
30	12,0	2,2	9,5	0,60	0,35	2,30	0,25	1 520	1 320	180	320	960	9

Окончание табл. 9

Ва- ри- ант	A, м	B, м	H, м	$h_1$ , м	$h_2$ , м	$h_3$ , м	$C_1$ , м	$P_1$ , м	$P_2$ , м	$T_1$ , м	$T_2$ , м	$T_3$ , м	№ гео- логич. разреза
31	7,2	1,4	6,5	0,35	0,20	1,70	0,20	1 030	870	140	180	710	10
32	12,0	2,6	8,5	0,50	0,35	2,50	0,40	1 690	1 290	230	270	620	8
33	6,6	1,2	4,5	0,35	0,20	1,40	0,30	1 150	890	170	210	590	6
34	12,0	1,8	12,5	0,45	0,25	2,50	0,45	1 830	1 430	260	260	1 250	13
35	8,4	2,0	10,5	0,40	0,20	1,70	0,40	1 320	1 210	130	140	760	9
36	7,5	1,5	8,5	0,35	0,20	1,40	0,35	1 050	830	150	130	590	13
37	5,3	1,4	11,0	0,35	0,25	1,30	0,20	950	690	120	150	490	2
38	8,6	1,6	7,5	0,40	0,25	2,10	0,30	1 160	830	170	170	580	3
39	12,0	2,4	13,5	0,45	0,35	2,40	0,40	1 200	1 050	270	350	680	14
40	5,3	1,5	8,6	0,35	0,30	1,35	0,25	740	680	120	180	460	8
41	6,0	1,4	7,4	0,30	0,25	1,45	0,30	790	530	150	200	420	1
42	8,4	1,6	5,6	0,35	0,25	1,55	0,35	950	780	170	240	520	5
43	7,2	1,7	8,2	0,40	0,30	1,40	0,35	810	690	160	210	430	7
44	6,0	1,4	8,0	0,30	0,30	1,40	0,30	730	630	140	230	500	2
45	12,0	2,2	9,5	0,50	0,40	2,50	0,45	1 350	1 100	250	380	710	5
46	7,5	1,6	6,5	0,45	0,35	2,10	0,35	860	730	180	210	560	4
47	8,4	1,8	5,8	0,45	0,40	2,20	0,30	940	840	190	300	580	3
48	5,3	1,2	8,5	0,35	0,30	1,65	0,30	680	540	130	210	540	6
49	7,2	1,6	7,6	0,35	0,30	1,85	0,35	820	690	200	240	490	8
50	8,8	1,7	5,5	0,40	0,35	2,10	0,40	930	880	180	300	530	2

Вариант 1

Вариант 2

..... ..... ..... ..... ..... .....	Песок крупный -5 500 _____	$\rho_s = 2,63 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,91 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,23$ ; $m_o = 0,071 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,145$ ; $W_P = 0,140$ ; $W = 0,1 437$	..... ..... ..... ..... ..... .....	Песок мелкий -4 000 _____	$\rho_s = 2,59 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,84 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,22$ ; $m_o = 0,078 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,210$ ; $W_P = 0,201$ ; $W = 0,2 026$
----- ----- ----- -----	Супесь -9 000 _____	$\rho_s = 2,63 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,89 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,096 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,220$ ; $W_P = 0,170$ ; $W = 0,1 887$	----- ----- ----- -----	Супесь -7 000 _____	$\rho_s = 2,59 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,79 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,27$ ; $m_o = 0,103 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,150$ ; $W_P = 0,126$ ; $W = 0,1 329$
==== ==== ==== ====	Глина	$\rho_s = 2,78 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,89 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,102 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,435$ ; $W_P = 0,205$ ; $W = 0,2 945$	==== ==== ==== ====	Глина	$\rho_s = 2,71 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,84 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,25$ ; $m_o = 0,098 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,420$ ; $W_P = 0,205$ ; $W = 0,2 778$

Вариант 3

..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ↓	Песок средней крупности -6 500	$\rho_s = 2,67 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,76 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,25$ ; $m_o = 0,053 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,180$ ; $W_P = 0,177$ ; $W = 0,1 812$
— — — — ↓	Суглинок -10 500	$\rho_s = 2,75 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,92 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,20$ ; $m_o = 0,107 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,380$ ; $W_P = 0,260$ ; $W = 0,2 973$
== == == == == ↓	Глина -12 000	$\rho_s = 2,72 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,89 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,23$ ; $m_o = 0,078 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,476$ ; $W_P = 0,241$ ; $W = 0,3 034$ Грунтовая вода

Вариант 4

..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ↓	Песок пылева- тый -8 500	$\rho_s = 2,71 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,89 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,107 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,325$ ; $W_P = 0,320$ ; $W = 0,3 217$
— — — — ↓	Суглинок -12 000	$\rho_s = 2,73 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,75 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,25$ ; $m_o = 0,093 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,308$ ; $W_P = 0,151$ ; $W = 0,1 986$
==== ==== ==== ==== ==== ↓	Глина -16 000	$\rho_s = 2,75 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,91 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,17$ ; $m_o = 0,109 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,510$ ; $W_P = 0,302$ ; $W = 0,3 264$ Грунтовая вода

Вариант 5

..... ..... ..... ..... ..... ..... ↓	Песок мелкий -6 000	$\rho_s = 2,58 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,67 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,092 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,185$ ; $W_P = 0,177$ ; $W = 0,1 844$
----- ----- ----- ----- ↓	Супесь -8 000	$\rho_s = 2,67 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,69 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,096 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,126$ ; $W_P = 0,083$ ; $W = 0,1 046$
— — — — ↓	Суглинок -13 000	$\rho_s = 2,83 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,87 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,15$ ; $m_o = 0,105 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,380$ ; $W_P = 0,219$ ; $W = 0,2 550$
==== ==== ==== ==== ↓	Глина	$\rho_s = 2,90 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,91 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,21$ ; $m_o = 0,113 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,425$ ; $W_P = 0,171$ ; $W = 0,2 566$

Вариант 6

..... ..... ..... ..... ..... ..... ↓	Песок крупный -6 000	$\rho_s = 2,67 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,78 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,23$ ; $m_o = 0,096 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,330$ ; $W_P = 0,324$ ; $W = 0,3 284$
----- ----- ----- ----- ↓	Супесь -8 000	$\rho_s = 2,81 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,98 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,23$ ; $m_o = 0,103 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,206$ ; $W_P = 0,196$ ; $W = 0,200$
— — — — ↓	Суглинок -13 000	$\rho_s = 2,71 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,73 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,11$ ; $m_o = 0,101 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,385$ ; $W_P = 0,223$ ; $W = 0,2 446$
==== ==== ==== ==== ↓	Глина	$\rho_s = 2,83 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,87 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,13$ ; $m_o = 0,079 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,443$ ; $W_P = 0,210$ ; $W = 0,4 430$

Вариант 7

Вариант 8

..... ..... ..... ..... .....	Песок мелкий -5 000 ↓	$\rho_s = 2,73 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,86 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,22$ ; $m_o = 0,109 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,255$ ; $W_P = 0,247$ ; $W = 0,2 \text{ 483}$	..... ..... ..... ..... .....	Песок крупный -4 000 ↓	$\rho_s = 2,61 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,79 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,21$ ; $m_o = 0,089 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,165$ ; $W_P = 0,160$ ; $W = 0,1 \text{ 623}$
----- ----- ----- -----	Супесь -9 000 ↓	$\rho_s = 2,76 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,81 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,21$ ; $m_o = 0,105 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,160$ ; $W_P = 0,150$ ; $W = 0,1 \text{ 529}$	----- ----- ----- -----	Супесь -8 000 ↓	$\rho_s = 2,76 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,83 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,25$ ; $m_o = 0,102 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,122$ ; $W_P = 0,112$ ; $W = 0,1 \text{ 158}$
_____ _____ _____ _____	Суглинок -10 500 ↓	$\rho_s = 2,80 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,91 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,23$ ; $m_o = 0,107 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,395$ ; $W_P = 0,310$ ; $W = 0,3 \text{ 357}$	_____ _____ _____ _____	Суглинок -14 000 ↓	$\rho_s = 2,81 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,84 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,14$ ; $m_o = 0,091 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,367$ ; $W_P = 0,209$ ; $W = 0,2 \text{ 267}$

Вариант 9

Вариант 10

..... ..... ..... ..... .....	Песок крупный -3 000 ↓	$\rho_s = 2,63 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,91 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,23$ ; $m_o = 0,071 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,145$ ; $W_P = 0,140$ ; $W = 0,1 \text{ 437}$	..... ..... ..... ..... .....	Песок мелкий -6 000 ↓	$\rho_s = 2,59 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,84 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,22$ ; $m_o = 0,078 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,210$ ; $W_P = 0,201$ ; $W = 0,2 \text{ 026}$
----- ----- ----- -----	Супесь -7 000 ↓	$\rho_s = 2,76 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,81 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,095 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,160$ ; $W_P = 0,150$ ; $W = 0,1 \text{ 529}$	----- ----- ----- -----	Супесь -10 000 ↓	$\rho_s = 2,76 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,83 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,25$ ; $m_o = 0,106 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,122$ ; $W_P = 0,112$ ; $W = 0,1 \text{ 158}$
_____ _____ _____ _____	Суглинок -10 500 ↓	$\rho_s = 2,80 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,91 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,26$ ; $m_o = 0,104 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,395$ ; $W_P = 0,310$ ; $W = 0,3 \text{ 357}$ Грунтовая вода	_____ _____ _____ _____	Суглинок -14 000 ↓	$\rho_s = 2,81 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,84 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,14$ ; $m_o = 0,102 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,367$ ; $W_P = 0,209$ ; $W = 0,2 \text{ 267}$ Грунтовая вода
_____ _____ _____ =====	-12 500 ↓ Глина	$\rho_s = 2,73 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,90 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,095 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,475$ ; $W_P = 0,271$ ; $W = 0,3 \text{ 286}$	_____ _____ _____ =====	-16 000 ↓ Глина	$\rho_s = 2,81 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,93 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,16$ ; $m_o = 0,096 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,455$ ; $W_P = 0,245$ ; $W = 0,3 \text{ 041}$

Вариант 11

.....	Песок	$\rho_s = 2,73 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,86 \text{ т/м}^3$ ;
.....	мелкий	$\mu = 0,22$ ; $m_o = 0,109 \text{ 1/МПа}$ ;
.....	-7 000	$W_L = 0,255$ ; $W_P = 0,247$ ;
.....	_____	$W = 0,2483$
.....	↓	
-----	Супесь	$\rho_s = 2,76 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,81 \text{ т/м}^3$ ;
-----	-9 000	$\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,075 \text{ 1/МПа}$ ;
-----	_____	$W_L = 0,160$ ; $W_P = 0,150$ ;
-----	↓	$W = 0,1529$
---	Суглинок	$\rho_s = 2,80 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,91 \text{ т/м}^3$ ;
---		$\mu = 0,23$ ; $m_o = 0,107 \text{ 1/МПа}$ ;
---	-12 000	$W_L = 0,395$ ; $W_P = 0,310$ ;
---	_____	$W = 0,3357$
---	↓	Грунтовая вода

Вариант 12

.....	Песок	$\rho_s = 2,61 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,79 \text{ т/м}^3$ ;
.....	крупный	$\mu = 0,21$ ; $m_o = 0,089 \text{ 1/МПа}$ ;
.....	-5 000	$W_L = 0,165$ ; $W_P = 0,160$ ;
.....	_____	$W = 0,1623$
.....	↓	
-----	Супесь	$\rho_s = 2,76 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,83 \text{ т/м}^3$ ;
-----	-8 000	$\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,090 \text{ 1/МПа}$ ;
-----	_____	$W_L = 0,122$ ; $W_P = 0,112$ ;
-----	↓	$W = 0,1158$
---	Суглинок	$\rho_s = 2,81 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,84 \text{ т/м}^3$ ;
---		$\mu = 0,14$ ; $m_o = 0,091 \text{ 1/МПа}$ ;
---	-14 000	$W_L = 0,367$ ; $W_P = 0,209$ ;
---	_____	$W = 0,2267$
---	↓	Грунтовая вода

Вариант 13

---	-3 000	Вода
---	_____	
---	↓	
---	Суглинок	$\rho_s = 2,75 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,92 \text{ т/м}^3$ ;
---	-8 000	$\mu = 0,23$ ; $m_o = 0,096 \text{ 1/МПа}$ ;
---	_____	$W_L = 0,380$ ; $W_P = 0,260$ ;
---	↓	$W = 0,2973$
===	Глина	$\rho_s = 2,72 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,89 \text{ т/м}^3$ ;
===		$\mu = 0,21$ ; $m_o = 0,092 \text{ 1/МПа}$ ;
===		$W_L = 0,476$ ; $W_P = 0,241$ ;
===		$W = 0,3034$

Вариант 14

---	-4 000	Вода
---	_____	
---	↓	
---	Суглинок	$\rho_s = 2,73 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,75 \text{ т/м}^3$ ;
---	-7 500	$\mu = 0,25$ ; $m_o = 0,083 \text{ 1/МПа}$ ;
---	_____	$W_L = 0,308$ ; $W_P = 0,151$ ;
---	↓	$W = 0,1986$
===	Глина	$\rho_s = 2,75 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,91 \text{ т/м}^3$ ;
===	↓	$\mu = 0,18$ ; $m_o = 0,087 \text{ 1/МПа}$ ;
===		$W_L = 0,510$ ; $W_P = 0,302$ ;
===		$W = 0,3264$

Вариант 15

.....	Песок	$\rho_s = 2,63 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,91 \text{ т/м}^3$ ;
.....	крупный	$\mu = 0,23$ ;
.....	-5 500	$m_o = 0,071 \text{ 1/МПа}$ ;
.....	_____	$W_L = 0,145$ ; $W_P = 0,140$ ;
.....	↓	$W = 0,1437$
-----	Супесь	$\rho_s = 2,63 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,89 \text{ т/м}^3$ ;
-----	-9 000	$\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,096 \text{ 1/МПа}$ ;
-----	_____	$W_L = 0,220$ ; $W_P = 0,170$ ;
-----	↓	$W = 0,1887$
===	Глина	$\rho_s = 2,78 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,89 \text{ т/м}^3$ ;
===		$\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,102 \text{ 1/МПа}$ ;
===		$W_L = 0,435$ ; $W_P = 0,205$ ;
===		$W = 0,2945$

Вариант 16

.....	Песок	$\rho_s = 2,59 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,84 \text{ т/м}^3$ ;
.....	мелкий	$\mu = 0,22$ ;
.....	-4 000	$m_o = 0,078 \text{ 1/МПа}$ ;
.....	_____	$W_L = 0,210$ ; $W_P = 0,201$ ;
.....	↓	$W = 0,2026$
-----	Супесь	$\rho_s = 2,59 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,79 \text{ т/м}^3$ ;
-----	-7 000	$\mu = 0,27$ ; $m_o = 0,103 \text{ 1/МПа}$ ;
-----	_____	$W_L = 0,150$ ; $W_P = 0,126$ ;
-----	↓	$W = 0,1329$
===	Глина	$\rho_s = 2,71 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,84 \text{ т/м}^3$ ;
===		$\mu = 0,25$ ; $m_o = 0,098 \text{ 1/МПа}$ ;
===		$W_L = 0,420$ ; $W_P = 0,205$ ;
===		$W = 0,2778$

Вариант 17

..... ..... ..... ..... ..... .....	Песок средней крупности -6 500 ↓	$\rho_s = 2,67 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,76 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,25$ ; $m_o = 0,053 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,180$ ; $W_P = 0,177$ ; $W = 0,1 812$
— — — —	Суглинок -10 500 ↓	$\rho_s = 2,75 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,92 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,20$ ; $m_o = 0,107 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,380$ ; $W_P = 0,260$ ; $W = 0,2 973$
=== === === === ===	Глина -12 000 ↓	$\rho_s = 2,72 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,89 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,23$ ; $m_o = 0,078 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,476$ ; $W_P = 0,241$ ; $W = 0,3 034$ Грунтовая вода

Вариант 18

..... ..... ..... ..... ..... .....	Песок пылева- тый -8 500 ↓	$\rho_s = 2,71 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,89 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,107 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,325$ ; $W_P = 0,320$ ; $W = 0,3 217$
— — — —	Суглинок -12 000 ↓	$\rho_s = 2,73 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,75 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,25$ ; $m_o = 0,093 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,308$ ; $W_P = 0,151$ ; $W = 0,1 986$
==== ==== ==== ==== ====	Глина -16 000 ↓	$\rho_s = 2,75 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,91 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,17$ ; $m_o = 0,109 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,510$ ; $W_P = 0,302$ ; $W = 0,3 264$ Грунтовая вода

Вариант 19

..... ..... ..... ..... .....	Песок мелкий -6 000 ↓	$\rho_s = 2,58 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,67 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,092 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,185$ ; $W_P = 0,177$ ; $W = 0,1 844$
----- ----- ----- -----	Супесь -8 000 ↓	$\rho_s = 2,67 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,69 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,096 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,126$ ; $W_P = 0,083$ ; $W = 0,1 046$
— — — —	Суглинок -13 000 ↓	$\rho_s = 2,83 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,87 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,15$ ; $m_o = 0,105 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,380$ ; $W_P = 0,219$ ; $W = 0,2 550$
==== ==== ==== ====	Глина	$\rho_s = 2,90 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,91 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,21$ ; $m_o = 0,113 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,425$ ; $W_P = 0,171$ ; $W = 0,2 566$

Вариант 20

..... ..... ..... ..... .....	Песок крупный -6 000 ↓	$\rho_s = 2,67 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,78 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,23$ ; $m_o = 0,096 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,330$ ; $W_P = 0,324$ ; $W = 0,3 284$
----- ----- ----- -----	Супесь -8 000 ↓	$\rho_s = 2,81 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,98 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,23$ ; $m_o = 0,103 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,206$ ; $W_P = 0,196$ ; $W = 0,200$
— — — —	Суглинок -13 000 ↓	$\rho_s = 2,71 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,73 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,11$ ; $m_o = 0,101 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,385$ ; $W_P = 0,223$ ; $W = 0,2 446$
==== ==== ==== ====	Глина	$\rho_s = 2,83 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,87 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,13$ ; $m_o = 0,079 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,443$ ; $W_P = 0,210$ ; $W = 0,4 430$

Вариант 21

Вариант 22

..... ..... ..... ..... .....	Песок мелкий -5 000 ↓	$\rho_s = 2,73 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,86 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,22$ ; $m_o = 0,109 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,255$ ; $W_P = 0,247$ ; $W = 0,2 483$	..... ..... ..... ..... .....	Песок крупный -4 000 ↓	$\rho_s = 2,61 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,79 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,21$ ; $m_o = 0,089 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,165$ ; $W_P = 0,160$ ; $W = 0,1 623$
----- ----- ----- -----	Супесь -9 000 ↓	$\rho_s = 2,76 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,81 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,21$ ; $m_o = 0,105 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,160$ ; $W_P = 0,150$ ; $W = 0,1 529$	----- ----- ----- -----	Супесь -8 000 ↓	$\rho_s = 2,76 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,83 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,25$ ; $m_o = 0,102 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,122$ ; $W_P = 0,112$ ; $W = 0,1 158$
_____ _____ _____ _____	Суглинок -10 500 ↓	$\rho_s = 2,80 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,91 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,23$ ; $m_o = 0,107 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,395$ ; $W_P = 0,310$ ; $W = 0,3 357$	_____ _____ _____ _____	Суглинок -14 000 ↓	$\rho_s = 2,81 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,84 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,14$ ; $m_o = 0,091 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,367$ ; $W_P = 0,209$ ; $W = 0,2 267$

Вариант 23

Вариант 24

..... ..... ..... ..... .....	Песок крупный -3 000 ↓	$\rho_s = 2,63 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,91 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,23$ ; $m_o = 0,071 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,145$ ; $W_P = 0,140$ ; $W = 0,1 437$	..... ..... ..... ..... .....	Песок мелкий -6 000 ↓	$\rho_s = 2,59 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,84 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,22$ ; $m_o = 0,078 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,210$ ; $W_P = 0,201$ ; $W = 0,2 026$
----- ----- ----- -----	Супесь -7 000 ↓	$\rho_s = 2,76 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,81 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,095 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,160$ ; $W_P = 0,150$ ; $W = 0,1 529$	----- ----- ----- -----	Супесь -10 000 ↓	$\rho_s = 2,76 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,83 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,25$ ; $m_o = 0,106 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,122$ ; $W_P = 0,112$ ; $W = 0,1 158$
_____ _____ _____ _____ _____ =====	Суглинок -10 500 ↓ -12.500 ↓ Глина	$\rho_s = 2,80 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,91 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,26$ ; $m_o = 0,104 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,395$ ; $W_P = 0,310$ ; $W = 0,3 357$ Грунтовая вода $\rho_s = 2,73 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,90 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,24$ ; $m_o = 0,095 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,475$ ; $W_P = 0,271$ ; $W = 0,3 286$	_____ _____ _____ _____ _____ =====	Суглинок -14 000 ↓ -16.000 ↓ Глина	$\rho_s = 2,81 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,84 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,14$ ; $m_o = 0,102 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,367$ ; $W_P = 0,209$ ; $W = 0,2 267$ Грунтовая вода $\rho_s = 2,81 \text{ т/м}^3$ ; $\rho = 1,93 \text{ т/м}^3$ ; $\mu = 0,16$ ; $m_o = 0,096 \text{ 1/МПа}$ ; $W_L = 0,455$ ; $W_P = 0,245$ ; $W = 0,3 041$

Вариант 25

.....	Песок	$\rho_s = 2,73 \text{ т/м}^3; \rho = 1,86 \text{ т/м}^3;$
.....	мелкий	$\mu = 0,22; m_o = 0,109 \text{ 1/МПа};$
.....	-7 000	$W_L = 0,255; W_P = 0,247;$
.....	_____	$W = 0,2 483$
.....	↓	
-----	Супесь	$\rho_s = 2,76 \text{ т/м}^3; \rho = 1,81 \text{ т/м}^3;$
-----	-9 000	$\mu = 0,24; m_o = 0,075 \text{ 1/МПа};$
-----	_____	$W_L = 0,160; W_P = 0,150;$
-----	↓	$W = 0,1 529$
—	Суглинок	$\rho_s = 2,80 \text{ т/м}^3; \rho = 1,91 \text{ т/м}^3;$
—		$\mu = 0,23; m_o = 0,107 \text{ 1/МПа};$
—	-12 000	$W_L = 0,395; W_P = 0,310;$
—	_____	$W = 0,3 357$
—	↓	Грунтовая вода

Вариант 26

.....	Песок	$\rho_s = 2,61 \text{ т/м}^3; \rho = 1,79 \text{ т/м}^3;$
.....	крупный	$\mu = 0,21; m_o = 0,089 \text{ 1/МПа};$
.....	-5 000	$W_L = 0,165; W_P = 0,160;$
.....	_____	$W = 0,1 623$
.....	↓	
-----	Супесь	$\rho_s = 2,76 \text{ т/м}^3; \rho = 1,83 \text{ т/м}^3;$
-----	-8 000	$\mu = 0,24; m_o = 0,090 \text{ 1/МПа};$
-----	_____	$W_L = 0,122; W_P = 0,112;$
-----	↓	$W = 0,1 158$
—	Суглинок	$\rho_s = 2,81 \text{ т/м}^3; \rho = 1,84 \text{ т/м}^3;$
—		$\mu = 0,14; m_o = 0,091 \text{ 1/МПа};$
—	-14 000	$W_L = 0,367; W_P = 0,209;$
—	_____	$W = 0,2 267$
—	↓	Грунтовая вода

Вариант 27

—	-3 000	Вода
—	_____	
—	↓	
—	Суглинок	$\rho_s = 2,75 \text{ т/м}^3; \rho = 1,92 \text{ т/м}^3;$
—	-8 000	$\mu = 0,23; m_o = 0,096 \text{ 1/МПа};$
—	_____	$W_L = 0,380; W_P = 0,260;$
—	↓	$W = 0,2 973$
====	Глина	$\rho_s = 2,72 \text{ т/м}^3; \rho = 1,89 \text{ т/м}^3$
====		$\mu = 0,21; m_o = 0,092 \text{ 1/МПа}$
====		$W_L = 0,476; W_P = 0,241$
====		$W = 0,3 034$

Вариант 28

—	-4 000	Вода
—	_____	
—	↓	
—	Суглинок	$\rho_s = 2,73 \text{ т/м}^3; \rho = 1,75 \text{ т/м}^3;$
—	-7 500	$\mu = 0,25; m_o = 0,083 \text{ 1/МПа};$
—	_____	$W_L = 0,308; W_P = 0,151;$
—	↓	$W = 0,1 986$
====	Глина	$\rho_s = 2,75 \text{ т/м}^3; \rho = 1,91 \text{ т/м}^3;$
====	↓	$\mu = 0,18; m_o = 0,087 \text{ 1/МПа};$
====		$W_L = 0,510; W_P = 0,302;$
====		$W = 0,3 264$

Вариант 29

—	-3 000	Вода
—	_____	
—	↓	
—	Суглинок	$\rho_s = 2,75 \text{ т/м}^3; \rho = 1,92 \text{ т/м}^3;$
—	-8 000	$\mu = 0,23; m_o = 0,096 \text{ 1/МПа};$
—	_____	$W_L = 0,380; W_P = 0,260;$
—	↓	$W = 0,2 973$
====	Глина	$\rho_s = 2,72 \text{ т/м}^3; \rho = 1,89 \text{ т/м}^3;$
====		$\mu = 0,21; m_o = 0,092 \text{ 1/МПа};$
====		$W_L = 0,476; W_P = 0,241;$
====		$W = 0,3 034$

Вариант 30

—	-4 000	Вода
—	_____	
—	↓	
—	Суглинок	$\rho_s = 2,73 \text{ т/м}^3; \rho = 1,75 \text{ т/м}^3;$
—	-7 500	$\mu = 0,25; m_o = 0,083 \text{ 1/МПа};$
—	_____	$W_L = 0,308; W_P = 0,151;$
—	↓	$W = 0,1 986$
====	Глина	$\rho_s = 2,75 \text{ т/м}^3; \rho = 1,91 \text{ т/м}^3;$
====	↓	$\mu = 0,18; m_o = 0,087 \text{ 1/МПа};$
====		$W_L = 0,510; W_P = 0,302;$
====		$W = 0,3 264$

## 5. ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ФУНДАМЕНТА МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

### 5.1. Вычисление физико-механических характеристик грунтов

Данные для вычисления физико-механических характеристик грунтов приведены в таблице 10.

Таблица 10

Вариант № 8, геологический разрез № 3

..... .....	↓ ——— - 6 500 Песок средней крупности	
——— ———	↓ ——— - 10 500 Суглинок	
=====	↓ ——— - 12 000 Глина	Отметка уровня грунтовых вод

Физико-механические характеристики грунтов, полученные по результатам испытания образцов, сводим в таблицу 11.

Таблица 11

Физико-механические характеристики грунтов,  
полученные в лабораторных условиях (вариант 8)

Наименование и толщина слоя грунта	1-й слой – песок средней крупности; $h = 6,5$ м	2-й слой – сугли- нок; $h = 4,0$ м	3-й слой – глина; толщина не ограни- чена
Плотность твердых частиц грунта $\rho_s$ , т/м <sup>3</sup>	2,67	2,75	2,72
Плотность грунта $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	1,76	1,92	1,89
Природная весовая влажность грунта $W$ , д. е.	0,1 812	0,2 973	0,3 034
Влажность грунта на границе текучести $W_L$ , д. е.	0,180	0,380	0,476
Влажность грунта на границе пластичности $W_p$ , д. е.	0,177	0,260	0,241
Коэффициент бокового расширения грунта, $\mu$	0,25	0,20	0,23
Коэффициент сжимаемости грунта $m_o$ , 1/МПа	0,053	0,107	0,078

По варианту № 8 (табл. 11) физико-механические характеристики грунтов сводятся в таблицу 12.

Таблица 12

Физико-механические характеристики грунта, полученные расчетом

Наименование грунта	Песок средней крупности (слой грунта № 1)	Суглинок (слой грунта № 2)	Глина (слой грунта № 3)
Удельный вес грунта $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	17,248	18,816	18,552
Удельный вес твердых частиц грунта $\gamma_s$ , кН/м <sup>3</sup>	26,166	26,950	26,656
Удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды $\gamma_{sW}$ , кН/м <sup>3</sup>	-----	-----	4,6 495
Число пластичности грунта $I_p$ , д. е.	0,003	0,120	0,235
Показатель текучести грунта $I_L$ , д. е.	0,4	0,3 108	0,2 655
Коэффициент пористости грунта $e$ , д. е.	0,7 919	0,8 581	0,8 759
Степень влажности грунта $S_r$ , д. е.	0,6 109	0,9 528	0,9 423
Коэффициент относительной сжимаемости грунта $m_v$ , 1/МПа	0,03 156	0,05 759	0,04 158
Модуль деформации грунта $E$ , МПа	26,40	15,63	20,75

## 5.2. Заключение по данным геологического разреза площадки строительства и выбор возможных вариантов фундаментов

1-й слой грунта – песок средней крупности, толщина слоя – 6,5 м. По степени влажности песок средней крупности относится к влажным грунтам, по модулю деформации – к малосжимаемым грунтам.

2-й слой грунта – суглинок, толщина слоя – 4,0 м. По степени влажности суглинок относится к насыщенным водой грунтам, по показателю текучести находится в тугопластичном состоянии, по модулю деформации относится к среднесжимаемым грунтам.

3-й слой грунта – глина, толщина слоя не вскрыта. По степени влажности глина относится к насыщенным водой грунтам, по показателю текучести находится в тугопластичном состоянии, по модулю деформации относится к малосжимаемым грунтам.

Природный рельеф площадки спокойный, с выдержанным залеганием пластов грунта. Все грунты могут служить естественным основанием. На отметке – 12 000 м расположены подземные воды.

В качестве возможных вариантов фундаментов могут быть рассмотрены: фундамент мелкого заложения, свайный фундамент на забивных призматических сваях, свайный фундамент на буровых или буронабивных столбах (с уширениями и без них), а также фундамент из свай-оболочек или в виде опускного колодца.

Подожву фундамента мелкого заложения следует расположить в песке средней крупности, свайные фундаменты запроектировать следующим



2. Изгибающий момент относительно отметки 0,000, действующий вдоль моста, кН·м:

$$M_{o. II} = 6 (P_1 - P_2) c_1 + T_1 (H + h_1 + h_2) = 6 (1\,700 - 1\,550) 0,5 + 270 (14,5 + 0,6 + 0,4) = (450 + 4\,185) = 4\,635;$$

$$M_{o. I} = \gamma_f M_{o. II} = 1,2 \cdot 4\,635 = 5\,562.$$

3 Изгибающий момент относительно отметки 0,000, действующий поперек моста, кН·м:

$$M_{o. II} = T_2 (H + h_1 + h_2 + h_3) = 230 (14,5 + 0,6 + 0,4 + 3,2) = 4\,301;$$

$$M_{o. I} = \gamma_f M_{o. II} = 1,2 \cdot 4\,301 = 5\,161,2.$$

4. Сдвигающая сила, действующая на отметке 0,000, вдоль моста, кН:

$$T_{o. II} = T_1 = 270; T_{o. I} = \gamma_f T_{o. II} = 1,2 \cdot 270 = 324.$$

5. Сдвигающая сила, действующая на отметке 0,000, поперек моста, кН:

$$T_{o. II} = T_2 + T_3 = 230 + 950 = 1\,180; T_{o. I} = \gamma_f T_{o. II} = 1,2 \cdot 1\,180 = 1\,416.$$

6. Вес опоры:

а) вес тела опоры, кН:

$$N_{on. II} = A_{on} H \gamma_{\delta} = [(A - B) B + \pi (B/2)^2] H \gamma_{\delta} = [(12 - 2,5) 2,5 + 3,14 (2,5)^2] 14,5 \cdot 25 = 10\,389,25;$$

$$N_{on. I} = \gamma_f N_{on. II} = 1,2 \cdot 10\,389,25 = 12\,467,1,$$

где  $\gamma_{\delta} = 25 \text{ кН/м}^3$  – удельный вес бетона;

б) вес подферменника, кН:

$$N_{nf. II} = A_{nf} H \gamma_{\delta} = \{ [A + 8c_1 - (B/2 + 0,3) 2] (B + 0,6) + \pi (B/2 + 0,3)^2 \} h_2 \gamma_{\delta} + \{ [A - (B/2 + 0,3) 2] (B + 0,6) + \pi (B/2 + 0,3)^2 \} h_1 \gamma_{\delta} \gamma_{k1} =$$

$$= \{ [12 + 8 \cdot 0,5 - (2,5 + 0,3) 2] (2,5 + 0,6) + 3,14 (2,5 + 0,3)^2 \} 0,4 \cdot 25 + \{ [12 - (2,5 + 0,3) 2] (2,5 + 0,6) + 3,14 (2,5 + 0,3)^2 \} 0,6 \cdot 25 \cdot 1,053 =$$

$$= 475,3 + 544,85 = 1\,030,15;$$

$$N_{nf, o. I} = \gamma_f N_{nf, o. II} = 1,2 \cdot 1\,030,15 = 1\,236,18.$$

7. Суммарное нормальное усилие, включающее вес пролетных строений, вес опоры и вес подферменника, кН:

$$\Sigma N_{o. II} = 19\,500 + 10\,389,25 + 1\,030,15 = 30\,919,4;$$

$$\Sigma N_{o. I} = 23\,400 + 12\,467,1 + 1\,236,18 = 37\,103,28.$$

#### 5.4. Расчет и конструирование фундамента мелкого заложения

Обрез фундамента заглубляем на 0,3 м от нулевой отметки грунта. Подошву фундамента следует назначать не менее расчетной глубины промерзания грунта плюс 0,25 м. С учетом того что песок средней крупности, находящийся во влажном состоянии [6], обладает относительно невысоким условным сопротивлением  $R_o$ , назначим глубину заложения фундамента  $d_f = 3$  м. Угол  $\alpha$  принимаем равным  $30^\circ$ . Тогда размеры подошвы фундамента из конструктивных соображений можно определить по формуле (10), м<sup>2</sup>:

$$A_k = l_n b_n = (l_{on} + 2h_\phi \operatorname{tg}\alpha) (b_{on} + 2h_\phi \operatorname{tg}\alpha),$$

где  $a = (3 - 0,3) \operatorname{tg}30^\circ = 1,559$  м, с учетом округления кратно 100 мм принимаем  $a = 1,6$  м.  $A_k = (12 + 2 \cdot 1,6) (2,5 + 2 \cdot 1,6) = 15,2 \cdot 5,7 = 86,64$ .

Значит  $l_n = 15,2$  м;  $b_n = 5,7$  м – соответственно длина и ширина подошвы фундамента.

Определяем расчетное сопротивление грунта осевому сжатию [6] под подошвой фундамента  $R$ , кПа, по формуле (15):

$$R = 1,7\{R_o [1 + k_1 (b - 2)] + k_2 \gamma (d_f - 3)\} = 1,7\{245 [1 + 0,1 (5,7 - 2)] + 3,0 \cdot 17,248 (3 - 3)\} = 570,605.$$

Определяем площадь подошвы фундамента по формуле (14). Так как взвешивающее действие воды в мелком песке отсутствует, то последний член в этой формуле не учитываем:

$$A_p = \sum N_{o.i} / (P - \gamma_m d_f), \text{ где } P \leq R / \gamma_n = 407,575 \text{ кПа};$$

$$A_p = 37 \, 103,28 / (407,575 - 19,62 \cdot 3) = 106,4 \text{ м}^2.$$

Проверяем условие по формуле (18):

$|[(A_p - A_k) / A_p]| 100 \% \leq 10 \% [(106,4 - 86,64) / 106,4] 100 \% = 18,57 \% - \text{условие не выполняется.}$

Увеличим глубину заложения подошвы фундамента до 4 м. Угол  $\alpha$  примем равным  $30^\circ$ . Тогда размеры подошвы фундамента из конструктивных соображений можно определить по формуле (10):

$$A_k = l_n b_n = (l_{on} + 2h_\phi \operatorname{tg}\alpha) (b_{on} + 2h_\phi \operatorname{tg}\alpha),$$

где  $a = 3,7 \operatorname{tg}30^\circ = 2,136$  м.

С учетом округления кратно 100 мм принимаем  $a = 2,2$  м. Тогда  $A_k = (12 + 2 \cdot 2,2) (2,5 + 2 \cdot 2,2) = 16,4 \cdot 6,9 = 113,16 \text{ м}^2$ . Значит  $l_n = 16,4$  м;  $b_n = 6,9$  м – соответственно длина и ширина подошвы фундамента.

Определяем расчетное сопротивление грунта осевому сжатию под подошвой фундамента  $R$ , кПа, [6] по формуле (15):

$$R = 1,7 \{ R_o [1 + k_1 (b - 2)] + k_2 \gamma (d_f - 3) \} = 1,7 \{ 245 [1 + 0,1 (6 - 2)] + 3 \cdot 17,248 \cdot (4 - 3) \} = 671,07.$$

Так как  $b > 6$  м, то [6] в расчет принимаем  $b = 6$  м. Снова определяем площадь подошвы фундамента по формуле (14). Так как взвешивающее действие воды в песке средней крупности отсутствует, то последний член в этой формуле не учитываем:

$$A_p = \sum N_{o.I} / (P - \gamma_m d), \text{ где } P \leq R / \gamma_n = 479,3 \text{ кПа};$$

$$A_p = 37 \cdot 103,28 / (479,3 - 19,62 \cdot 4) = 92,57 \text{ м}^2.$$

Проверяем условие по формуле (18):

$$|[(A_p - A_k) / A_p]| 100 \% \leq 10 \% [(113,16 - 92,57) / 113,16] 100 \% = 18,20 \% - \text{условие не выполняется.}$$

Изменим угол  $\alpha$ , примем его равным  $27^\circ$ . Тогда размеры подошвы фундамента из конструктивных соображений можно определить по формуле (10):

$$A_k = l_n b_n = (l_{on} + 2h_\phi \operatorname{tg} \alpha) (b_{on} + 2h_\phi \operatorname{tg} \alpha),$$

где  $a = 3,7 \operatorname{tg} 27^\circ = 1,88$  м; с учетом округления кратно 100 мм принимаем  $a = 1,9$  м.

Тогда  $A_k = (12 + 2 \cdot 1,9) (2,5 + 2 \cdot 1,9) = 15,8 \cdot 6,3 = 99,54 \text{ м}^2$ . Значит  $l_n = 15,8$  м;  $b_n = 6,3$  м – соответственно длина и ширина подошвы фундамента.

Проверяем условие по формуле (18):

$$|[(A_p - A_k) / A_p]| 100 \% \leq 10 \% [(99,54 - 92,57) / 99,54] 100 \% = 7,00 \% - \text{условие выполняется.}$$

Начинаем выполнять конструирование фундамента исходя из следующих условий: глубина заложения подошвы фундамента  $d_f = 4,0$  м,  $h_\phi = 3,7$  м, площадь фундамента по результатам конструирования должна быть не менее расчетной, равной  $A_p = 92,57 \text{ м}^2$ .

Назначаем три ступени  $h_{см.1} = 1,3$  м,  $h_{см.2} = h_{см.3} = 1,2$  м. Ширину нижней ступени определяем по формуле (11):  $b_{см.1} = h_{см.1} \operatorname{tg}\alpha = 1,3 \operatorname{tg}27^\circ = 0,66$  м. С учетом кратности размеров ступени 100 мм примем  $b_{см.1} = 0,7$  м. Ширину средней и верхней ступеней также определяем по формуле (11):  $b_{см.1} = b_{см.2} = h_{см.2} \operatorname{tg}\alpha = 1,2 \operatorname{tg}27^\circ = 0,61$  м. С учетом кратности размеров ступеней 100 мм примем  $b_{см.2} = b_{см.3} = 0,7$  м. Итак, все ступени по ширине одинаковы:  $b_{см.1} = b_{см.2} = b_{см.3} = b_{см} = 0,7$  м. Высота ступеней различна, м:  $h_{см.1} = 1,3$ ,  $h_{см.2} = h_{см.3} = 1,2$ .

Тогда размеры фундамента будут следующие, м:

$$l_3 = l_{он} + 2b_{см} = 12 + 2 \cdot 0,7 = 13,4;$$

$$b_3 = b_{он} + 2b_{см} = 2,5 + 2 \cdot 0,7 = 3,9;$$

$$l_2 = l_3 + 2b_{см} = 13,4 + 2 \cdot 0,7 = 14,8;$$

$$b_2 = b_3 + 2b_{см} = 3,9 + 2 \cdot 0,7 = 5,3;$$

$$l_n = l_2 + 2b_{см} = 14,8 + 2 \cdot 0,7 = 16,2;$$

$$b_n = b_2 + 2b_{см} = 5,3 + 2 \cdot 0,7 = 6,7.$$

Тогда  $A_\phi = l_n b_{см} = 16,2 \cdot 6,7 = 108,54$  м<sup>2</sup>, что больше требуемой по расчету (рис. 4).

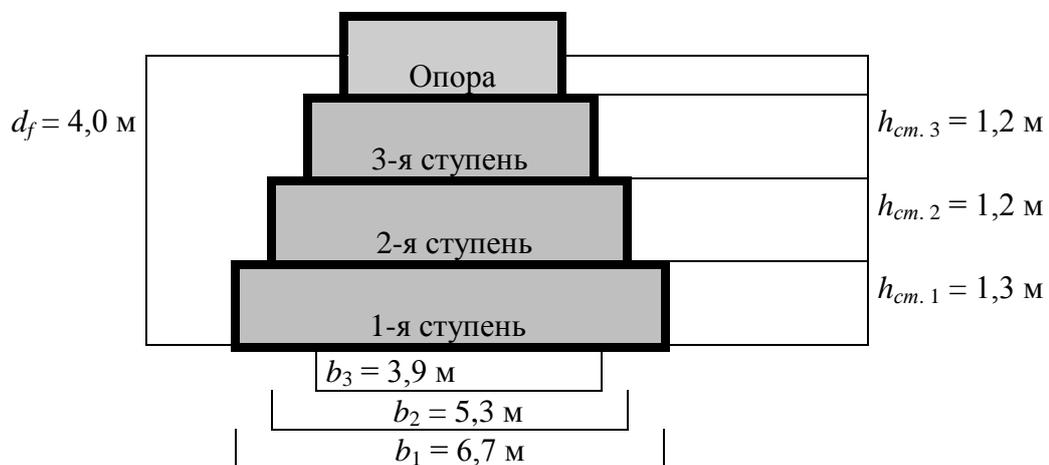


Рис. 4. Размеры фундамента мелкого заложения

Определяем объем фундамента по формуле (24), м<sup>3</sup>:

$$V_\phi = b_n l_n h_{см.1} + (b_n - 2b_{см.1}) (l_n - 2b_{см.1}) h_{см.2} + (b_n - 2b_{см.1} - 2b_{см.2}) (l_n - 2b_{см.1} - 2b_{см.2}) h_{см.3} = 6,7 \cdot 16,2 \cdot 1,3 + (6,7 - 2 \cdot 0,7) (16,2 - 2 \cdot 0,7) 1,2 + (6,7 - 2 \cdot 0,7 - 2 \cdot 0,7) (16,2 - 2 \cdot 0,7 - 2 \cdot 0,7) 1,2 = 297,942.$$

Вес фундамента, кН:

$$N_{\phi. II} = V_{\phi} \gamma_{\phi} = 297,942 \cdot 24 = 7\,150,61;$$

$$N_{\phi. I} = \gamma_f N_{\phi. II} = 1,2 \cdot 7\,150,61 = 8\,580,73.$$

Определяем объем грунта по формуле (27), при этом ввиду малости последнего члена в расчете им пренебрегаем, м<sup>3</sup>:

$$V_{zp} = b_n l_n d_f - V_{\phi} = 6,7 \cdot 16,2 \cdot 4 - 297,942 = 136,218.$$

Вес грунта, кН:

$$N_{zp. II} = V_{zp} \gamma = 136,218 \cdot 17,248 = 2\,349,49;$$

$$N_{zp. I} = \gamma_f N_{zp. II} = 1,2 \cdot 2\,349,49 = 2\,819,4.$$

С учетом найденного фактического веса фундамента и грунта, лежащего на его уступах, определяем среднее давление по подошве фундамента  $P$ , кПа, по формуле (28):

$$P = (\sum N_{o. I} + N_{\phi. I} + N_{zp. I}) / A_{\phi} \leq R / \gamma_n; P = (\sum N_{o. I} + N_{\phi. I} + N_{zp. I}) / A_{\phi} =$$

$$= (37\,103,28 + 8\,580,73 + 2\,819,4) / (16,2 \cdot 6,7) = 446,9;$$

$$446,9 \text{ кПа} < 479,3 \text{ кПа} - \text{условие выполняется.}$$

С учетом найденной глубины заложения фундамента, размеров его подошвы, веса фундамента и грунта, лежащего на его уступах, приведем изгибающие моменты, действующие вдоль и поперек моста относительно подошвы фундамента.

Изгибающий момент относительно плоскости подошвы, действующий вдоль моста, кН·м:

$$M_{o. II} = 6 (P_1 - P_2) c_1 + T_1 (H + h_1 + h_2 + d_f) = 6 (1\,700 - 1\,550) 0,5 +$$

$$+ 270 (14,5 + 0,6 + 0,4 + 4,0) = (450 + 5\,265) = 5\,715;$$

$$M_{o. I} = \gamma_f M_{o. II} = 1,2 \cdot 5\,715 = 6\,858.$$

Изгибающий момент относительно отметки 0,000, действующий поперек моста, кН·м:

$$M_{o. II} = T_2 (H + h_1 + h_2 + h_3 + d_f) + T_3 d_f = 230 (14,5 + 0,6 + 0,4 + 3,2 + 4,0) =$$

$$= 9\,021; M_{o. I} = \gamma_f M_{o. II} = 1,2 \cdot 9\,021 = 10\,825,2.$$

Остальные нагрузки не изменяются и собраны ранее. Производим расчет внецентренно-нагруженного фундамента с учетом действия моментов, направленных вдоль и поперек моста (рис. 5).

Согласно формуле (29)

$$p = (\sum N_{o.I} + N_{\phi.I} + N_{zp.I}) / A_{\phi} \pm M_x / W_x \pm M_y / W_y \leq \gamma_c R / \gamma_n,$$

где  $\gamma_c = 1,2$ ;  $R = 700,22$  кПа;  $\gamma_n = 1,4$ .

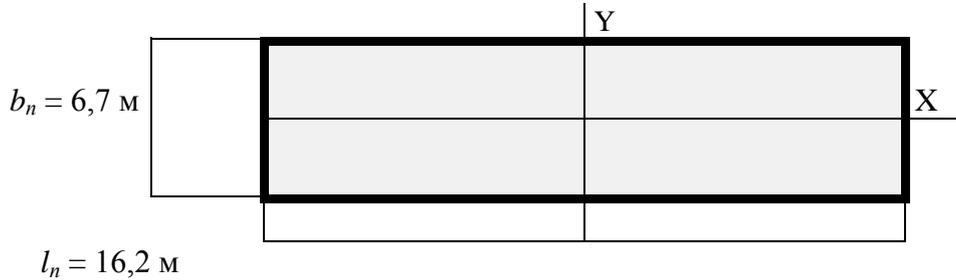


Рис. 5. Размеры подошвы фундамента мелкого заложения

Запишем:

$$p = (\sum N_{o.I} + N_{\phi.I} + N_{zp.I}) / A_{\phi} \pm M_x / W_x \pm M_y / W_y = (37\,103,28 + 8\,580,73 + 2\,819,4) / 16,2 \cdot 6,7 \pm 6\,858 / 121,203 \pm 10\,825,2 / 293,058 = 446,9 \text{ кПа} \pm 56,58 \text{ кПа} \pm 36,94 \text{ кПа}.$$

$$p_{\max} = 540,42 \text{ кПа}, p_{\min} = 353,38 \text{ кПа}, p_{cp} = 446,9 \text{ кПа};$$

$$p_{\max} = 540,42 \text{ кПа} < \gamma_c R / \gamma_n = 1,2 \cdot 671,07 \text{ кПа} / 1,4 = 575,20 \text{ кПа};$$

$$p_{\min} = 353,38 \text{ кПа} > 0, p_{cp} = 446,9 \text{ кПа} < 479,3 \text{ кПа};$$

$$p_{\min} / p_{\max} = 0,6539 > 0,25 - \text{условия выполняются.}$$

$$W_x = b_n^2 l_n / 6 = 121,203 \text{ м}^3; W_y = b_n l_n^2 / 6 = 293,058 \text{ м}^3.$$

Производим проверку фундамента мелкого заложения на сдвиг по подошве по формуле (36):

$$Q_r \leq (m / \gamma_n) Q_z,$$

а) в стадии эксплуатации:

$$Q_r = \gamma_f (T_2 + T_3) = 1,2 (950 + 230) = 1\,416 \text{ кН}; m = 0,9; \gamma_n = 1,1.$$

$$Q_z = \mu (\sum N_{o.I} + N_{\phi.I} + N_{zp.I}) = 0,4 (37\,103,28 + 8\,580,73 + 2\,819,4) = 19\,401,4 \text{ кН}.$$

$$1\,416 \text{ кН} < (0,9 / 1,1) 19\,401,4 \text{ кН} = 15\,873,8 \text{ кН} - \text{условие выполняется};$$

б) в стадии эксплуатации:

$$Q_r = \gamma_f T_3 = 1,2 \cdot 950 = 1\,140 \text{ кН}; m = 0,9; \gamma_n = 1.$$

$$Q_z = \mu (N_{on.I} + N_{\phi.I} + N_{zp.I}) = 0,4 (13\,703,3 + 8\,580,73 + 2\,819,4) = 10\,041,4 \text{ кН}.$$

$$1\,140 \text{ кН} < 0,9 \cdot 10\,041,4 \text{ кН} = 9\,037,3 \text{ кН} - \text{условие выполняется.}$$

Произведем расчет фундамента мелкого заложения на опрокидывание относительно оси X, так как относительно нее фундамент имеет меньший размер подошвы  $b_n = 6,7$  м.

Расчет производим по формуле (37):

$$M_u \leq (m/\gamma_n) M_z, M_z = (\sum N_{o.I} + N_{\phi.I} + N_{zp.I}) b_n/2 = 48\,503,41 \cdot 6,7/2 = 162\,486,4 \text{ кН}\cdot\text{м}; M_u = M_x = 6\,858 \text{ кН}\cdot\text{м}; m = 0,8; \gamma_n = 1,1;$$

$6\,858 \text{ кН}\cdot\text{м} < (0,8/1,1) 162\,486,4 \text{ кН}\cdot\text{м} = 118\,171,9 \text{ кН}\cdot\text{м}$  – условие выполняется.

$$N_x = N_y = (\sum N_{o.I} + N_{\phi.I} + N_{zp.I}) = 48\,503,41 \text{ кН.}$$

Проверим положение равнодействующей активных сил:

- вдоль моста:

$$e_o = M_x/N_x = 6\,858 / 48\,503,41 = 0,1414 \text{ м};$$

$$r = W_x/A = 121,203 / (16,2 \cdot 6,7) = 1,117 \text{ м};$$

$$e_o/r = 0,1414 / 1,117 = 0,1266 < 1 \text{ – условие выполняется};$$

- поперек моста:

$$e_o = M_y/N_y = 10\,825,2 / 48\,503,41 = 0,2232 \text{ м};$$

$$r = W_y/A = 293,058 / (16,2 \cdot 6,7) = 2,7 \text{ м};$$

$$e_o/r = 0,2232 / 2,7 = 0,0827 < 1 \text{ – условие выполняется.}$$

### 5.5. Определение осадки фундамента мелкого заложения и проверка несущей способности подстилающего слоя грунта

Расчет осадки фундамента мелкого заложения выполняется по формулам (30–34):

$$S = \beta \sum_{i=1}^n (\sigma_{zp,i} h_i)/E_i,$$

где  $\beta$  – безразмерный коэффициент, равный 0,8;

$$\sigma_{zp} = \alpha P_o, \text{ кПа};$$

$h_i$  и  $E_i$  – соответственно толщина, м, и модуль деформации  $i$ -го слоя грунта, МПа. Причем  $h_i \leq 0,4b_n$ ,  $b_n$  – меньшая сторона подошвы фундамента.

Результаты расчета сведены в таблицу 14.

Таблица 14

Расчет осадки фундамента мелкого заложения

$z_i$	$\zeta = 2z_i/b_n$	$\alpha_i$	$\sigma_{zg, i},$ кПа	$\sigma_{zg, i, cp},$ кПа	$\sigma_{zp, i},$ кПа	$\sigma_{zp, i, cp},$ кПа	$h_i, \text{ м}$	$E_i, \text{ МПа}$	$\sigma_{zp, i, cp}h_i/E_i, \text{ м}$
0	0,000	1,000	69,0		303,4				
				90,55		286,7	2,5	26,4	$27,15 \cdot 10^{-3}$
2,5	0,746	0,8 896	112,1		269,9				
				130,9		240,2	2,0	15,63	$30,74 \cdot 10^{-3}$
4,5	1,343	0,6 939	149,7		210,5				
				168,5		184,4	2,0	15,63	$23,60 \cdot 10^{-3}$
6,5	1,940	0,5 217	187,7		158,3				
				210,2		143,2	1,5	20,75	$10,35 \cdot 10^{-3}$
8,0	2,388	0,4 223	215,1		128,1				
				220,9		110,2	2,5	20,75	$13,28 \cdot 10^{-3}$
10,5	3,134	0,3 039	226,7		92,2				
				232,5		80,3	2,5	20,75	$9,68 \cdot 10^{-3}$
13,0	3,881	0,2 256	238,3		68,4				
				244,1		60,3	2,5	20,75	$7,27 \cdot 10^{-3}$
15,5	4,627	0,1 722	249,9		52,2				
				255,7		46,5	2,5	20,75	$5,60 \cdot 10^{-3}$
18,0	5,373	0,1 344	261,5		40,8				
				267,3		36,7	2,5	20,75	$4,42 \cdot 10^{-3}$
20,5	6,119	0,1 074	273,1		32,6				
				278,9		29,6	2,5	20,75	$3,57 \cdot 10^{-3}$
23,0	6,866	0,0 872	284,7		26,5				

$$\Sigma 135,66 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Итак, осадка фундамента  $S = 0,8 \cdot 135,66 \cdot 10^{-3} = 10,85 \cdot 10^{-2} = 10,85$  см, что меньше предельно допустимой осадки  $S_{max} = 12$  см.

Нижняя граница сжимаемой толщи основания принимается равной на глубине  $z = H_c$ , где выполняется условие:  $\sigma_{zp} = 0,1\sigma_{zg}$ .

Так как под песком средней крупности залегает суглинок с меньшим модулем деформации  $E$  чем у песка, то необходимо произвести проверку несущей способности подстилающего слоя [6].

Проверку несущей способности подстилающего слоя грунта производим по формуле (35) настоящих методических указаний, причем  $R$  и  $\alpha$  определяем по интерполяции по таблицам 2 и 7 соответственно:

$$\begin{aligned} \gamma (d + z_i) + \alpha (P - \gamma d_f) &= 17,248 (4 + 2,5) + 0,5 218 (372,4 - 69) = \\ &= 270,43 \text{ кПа} < 456,7 / 1,4 = 326,2 \text{ кПа} - \text{условие выполняется.} \end{aligned}$$

При вычислении расчетного сопротивления грунта  $R$  по формуле (15) принимается  $b = 6$  м.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Глотов, Н. М. Основания и фундаменты мостов : справочник / Н. М. Глотов, Г. П. Соловьев, И. С. Файнштейн ; под ред. К. С. Силина. – Москва : Транспорт, 1990. – 239 с.
2. Далматов, Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии) : учебник / Б. И. Далматов [и др.]. – Изд. 3-е, стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 415 с.
3. Кириллов, В. С. Основания и фундаменты : учебник для автомоб.-дор. спец. вузов / В. С. Кириллов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1980. – 392 с.
4. Основания и фундаменты транспортных сооружений : учебник для вузов ж.-д. трансп. / Н. М. Глотов [и др.] ; под ред. Г. П. Соловьева. – Москва : Транспорт, 1996. – 336 с.
5. Свод правил. Основания зданий и сооружений : актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* : (СП 22.13330.2016) : официальное издание : утверждены приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16.12.2016 № 970/пр : введены в действие 01.07.2017. – Москва : Стандартинформ, 2017. – V. – 154 с.
6. Свод правил. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\* : (СП 35.13330.2011) : официальное издание : утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 19.11.2008 № 858 «О порядке разработки и утверждения сводов правил» : введены в действие 20.05.2011. – Москва : ЦПП, 2011. – 340 с.