

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Автомобильные дороги»

# **ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ**

## **Методические указания к выполнению курсовой работы «Проектирование фундамента под промежуточную опору мостовой конструкции»**

Факультет: инженерно-строительный

Специальность 08.05.02 Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей

Специализация: Строительство (реконструкция), эксплуатация и техническое прикрытие автомобильных дорог

Направление подготовки бакалавриата: 08.03.01 – Строительство

Направленность (профиль) бакалавриата: Автомобильные дороги»

ВОЛОГДА

2016

УДК 624.15

**Основания и фундаменты:** методические указания к выполнению курсовой работы для студентов специальности 08.05.02 и направление подготовки 08.03.01. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 30 с.

Методические указания составлены в соответствии с Федеральным стандартом по дисциплинам технического цикла и предназначены для студентов очной и заочной форм обучения специальности 08.05.02 – строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей; направление подготовки бакалавриата: 08.03.01 – строительство; направленность (профиль) бакалавриата: Автомобильные дороги.

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Составители:

Г.Л. Каган, канд. геол.-мин. наук, доцент  
А.Ю. Вельсовский, канд. техн. наук, доцент

Рецензент:

С.Ю. Серков, главный инженер ОАО «Вологодавтодор»

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения .....	4
2. Оценка грунта основания .....	4
3. Определение нагрузок, приложенных к обрезу фундамента .....	5
4. Проектирование фундамента мелкого заложения .....	6
4.1. Определение минимальной глубины заложения .....	7
4.2. Проверка условия по ограничению давления по подошве фундамента .....	8
4.3. Корректировка глубины заложения и размеров фундамента.....	8
4.4. Расчет по I группе предельных состояний (по несущей способности) .....	9
4.4.1. Проверка несущей способности грунта основания .....	9
4.4.2. Проверка несущей способности прослойки подстилающего слоя грунта .....	10
4.4.3. Проверка на сдвиг по подошве фундамента .....	10
4.4.4. Проверка фундамента на опрокидывание .....	10
4.5. Расчет по II группе предельных состояний (по деформациям) .....	11
4.5.1. Проверка осадки фундамента .....	11
4.5.2. Проверка на относительный эксцентриситет.....	12
5. Проектирование свайного фундамента.....	13
5.1. Проверка по I группе предельных состояний (по несущей способности) .....	14
5.2. Проверка по II группе предельных состояний (по деформациям) .....	15
Приложение 1 .....	16
Приложение 2 .....	22
Литература .....	30

## 1. Общие положения

Курсовая работа содержит разделы проектирования двух вариантов фундаментов под промежуточную опору балочного автодорожного путепровода. Обязательными вариантами для проектирования являются массивный фундамент мелкого заложения и фундамент из забивных призматических свай.

Исходными данными для проектирования служат:

1. Схемы мостовой конструкции и ее основные параметры;
2. Нагрузки, действующие на сооружение;
3. Материалы инженерно-геологических изысканий, включая основные физические характеристики грунта.

Номера вариантов этих исходных данных указываются в заданиях, выдаваемых каждому студенту, а содержание их приводится в Приложении 1.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части.

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 листах бумаги формата А4. Страницы нумеруются. Объем пояснительной записки до 30 страниц.

Графическая часть выполняется на листе формата А2, на котором должны быть представлены разрез и план фундамента с привязкой к геологическому разрезу площадки, а также исходные данные.

Задача студента – научиться использовать нормативную и справочную литературу. Это достигается тем, что в методических указаниях не приводятся многие табличные показатели, а лишь даются ссылки на источники, указанные в списке литературы.

Защита курсового проекта состоит в ответах на вопросы руководителя проекта с целью выяснения глубины и полноты проработки студентом предъявленных материалов.

Оценка курсового проекта производится руководителем с учетом содержания, оформления проекта и его защиты.

При составлении настоящих указаний были использованы методические материалы к курсовому проектированию, разработанные в Санкт-Петербургском и Казанском архитектурно-строительных университетах.

## 2. Оценка грунта основания

Данные инженерно-геологических условий содержат сведения об основных характеристиках грунта – плотности грунта ( $\rho$ ) и твердых частиц ( $\rho_s$ ), влажности естественной ( $W$ ), на границе раскатывания ( $W_p$ ) и текучести ( $W_L$ ), значения дисперсности ( $D$ ) песчаного грунта.

На основании этих характеристик устанавливается комплекс производных физических свойств грунта, необходимый для классификации грунта в

соответствии с ГОСТ 25100-2011 [1]. Расчетные формулы для определения производных характеристик и классификация грунта по ГОСТ 25100-2011 [1] приведены в Приложении 2. Там же приводится рекомендуемая СП 22.13330.2011 [2] методика по определению для глинистого грунта показателя  $R_f$  и классификация по степени пучинистости грунта по этому показателю и показателю дисперсности (Д) для песчаного грунта.

Нормативные значения ( $X_n$ ) прочностных и деформационных характеристик грунта определяются по таблицам Приложения Б СП 22.13330.2011 [2]. Расчетные значения ( $X$ ) этих характеристик находят по формуле:

$$X = X_n / \gamma_g, \quad (1)$$

где  $\gamma_g$  – коэффициент надежности по грунту.

Значения коэффициента надежности по грунту принимают:

в расчетах основания по деформациям  $\gamma_g = 1$ ;

в расчетах основания по несущей способности:

для удельного сцепления  $\gamma_{g(c)} = 1,5$ ;

для угла внутреннего трения песчаных грунтов  $\gamma_{g(\phi)} = 1,1$ ;

для угла внутреннего трения глинистых грунтов  $\gamma_{g(\phi)} = 1,15$ ;

для удельного веса грунта  $\gamma_g = 1,1$ .

Результаты оценки грунта основания фундамента рекомендуется привести в табличной форме, вид которой показан в Приложении 2 (таблица 8.П2).

### 3. Определение нагрузок, приложенных к обрезу фундамента

Нагрузки и воздействия при расчетах фундаментов определяются по СНиП 2.05.03-84\* [3].

В таблице 1.П1 Приложения 1 согласно варианту даны следующие нормативные нагрузки:

$N_1$  – усилие с левого пролета;

$N_2$  – усилие с правого пролета;

$N_3$  – вес опоры;

$S_1$  – горизонтальное усилие, действующее вдоль мостовой конструкции;

$S_2$  – горизонтальное усилие, действующее поперек мостовой конструкции (ветер и т.п.).

В таблице 1.П1 приведены значения геометрических параметров, которые указаны на схемах мостовых конструкций:

$H$  – высота опоры до цоколя;

$h$  – высота цокольной части;

$a$  – эксцентриситет приложения нагрузки с пролета относительно центральной оси опоры.

Для расчета фундамента по деформациям (осадка опоры, расчетное сопротивление грунта) используются нормативные нагрузки.

Суммарное нормативное значение вертикальной нагрузки:

$$\Sigma N_{o,II} = N_1 + N_2 + N_3 \quad (2)$$

Моменты, возникающие по обрезу фундамента от приведенных усилий, определяются так:

момент от эксцентриситета

$$M_{1,II} = (N_1 - N_2) \cdot a; \quad (3)$$

момент от горизонтального усилия вдоль пролета

$$M_{2,II} = S_1 \cdot (H+h); \quad (4)$$

момент от горизонтального усилия поперек пролета

$$M_{3,II} = S_1 \cdot h; \quad (5)$$

суммарный момент вдоль пролета

$$M_{x,II} = M_{1,II} + M_{2,II}; \quad (6)$$

суммарный момент поперек пролета

$$M_{y,II} = M_{3,II}. \quad (7)$$

Для расчета фундамента по несущей способности (несущая способность сваи, устойчивость опоры от сдвига и опрокидывания) используются расчетные усилия. Для перехода от нормативных нагрузок к расчетным нагрузкам I группы предельных состояний допускается использовать усредненный коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,2$ .

$$\Sigma N_{o,I} = \gamma_f \cdot \Sigma N_{o,II}; \quad M_{x,I} = \gamma_f \cdot M_{x,II}; \quad M_{y,I} = \gamma_f \cdot M_{y,II}. \quad (8)$$

#### 4. Проектирование фундамента мелкого заложения

Основными этапами проектирования фундамента мелкого заложения (ФМЗ) являются:

1. Определение минимальной глубины заложения и размеров подошвы фундамента;

2. Проверка условия:

$$p \leq R / \gamma_n, \quad (9)$$

где  $p$  – среднее давление по подошве фундамента,  $R$  – расчетное сопротивление грунта под подошвой фундамента,  $\gamma_n$  – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,4.

3. В случае невыполнения условия 8 подбором (графическим методом), используя угол жесткости  $\alpha$ , увеличивая площадь, определяем глубину заложения, при которой это условие выполняется. При этой глубине конструктивно назначаются и другие параметры фундамента;

4. Уточнение размеров ФМЗ расчетами по I и II группам предельных состояний. Эти расчеты включают проверку ряда условий. Если проверка какого-то из этих условий не выполняется, необходимо изменить параметры фундамента, чтобы обеспечить ее выполнение. Рассмотрим содержание каждого из этих этапов.

#### **4.1. Определение минимальной глубины заложения**

Для мостового перехода минимальная глубина заложения принимается в зависимости от глубины промерзания грунта основания и возможности размыва грунта у данной опоры. Если грунт основания опоры является пучинистым, то минимальная глубина заложения ( $d_{\min}$ ) должна удовлетворять условию:

$$d_{\min} \leq d_f + 0,25 \text{ м} , \quad (10)$$

где  $d_f$  – расчетная глубина промерзания. Ее значение определяется из выражения:

$$d_f = k_h \cdot d_{fn} , \quad (11)$$

где  $k_h$  – коэффициент теплового влияния, для промежуточной опоры принимается равным 1,1;  $d_{fn}$  – нормативная глубина промерзания, определяется по рекомендациям СП 2213330.2011 [2].

Для путепровода размыв опоры исключен, поэтому этот фактор в данном проекте не учитывается.

Фундаменты опор мостов недопустимо опирать на просадочные и заторфованные грунты, а также глинистые грунты с показателем текучести  $I_L > 0,5$ . Такие грунты необходимо проходить, опирая подошву фундамента на более прочные грунты.

В непучинистых нескальных грунтах минимальная глубина заложения должна быть не менее 1 м от дневной поверхности грунта. В несущий слой грунта подошва фундамента должна быть заглублена не менее чем на 0,5 м. Для опор, возводимых на суше, обрез фундамента назначается на 0,2-0,4 м ниже поверхности грунта.

Размеры фундаментов в плане по высоте принимаются постоянными, тогда размеры подошвы определяются из выражений:

$$A_{\text{оп}}^{\text{min}} = A_{\text{оп}} + 2\Delta, \text{ м} , \quad (12)$$

$$B_{\text{оп}}^{\text{min}} = B_{\text{оп}} + 2\Delta, \text{ м}$$

где  $A_{оп}$ ,  $B_{оп}$  – размеры опоры в плане на уровне обреза фундамента (см. исходные данные),  $\Delta$  – компенсация неточности геодезической разбивки, принимается в пределах 0,2-0,5 м. Класс бетона для монолитных фундамента принимается не ниже В20.

#### **4.2. Проверка условия по ограничению давления по подошве фундамента**

Среднее давление по подошве фундамента находится из выражения:

$$p = \frac{\Sigma N_{0,II} + N_{\phi}}{A_{min}}, \quad (13)$$

где  $\Sigma N_{0,II}$  – равнодействующая вертикальных нагрузок, приложенных к обрезу фундамента, см. Приложение 1;  $N_{\phi}$  – вес фундамента;  $A_{min}$  – минимальные размеры площади подошвы фундамента

$$A_{min} = A_{оп}^{min} \cdot B_{оп}^{min}. \quad (14)$$

Значение расчетного сопротивления грунта основания  $R$  определяется по формуле:

$$R = 1,7 \{ R_0 \cdot [1 + k_1 \cdot (b - 2)] + k_2 \cdot \gamma \cdot (d - 3) \}, \quad (15)$$

где  $R_0$  – условное сопротивление грунта, определяемое СНиП 2.05.03-84\* [3];  $b$  – ширина (меньшая сторона) подошвы фундамента, при ее ширине более 6 м принимается 6 метров;  $d$  – глубина заложения подошвы фундамента;  $\gamma$  – усредненное по слоям расчетное значение удельного веса грунта, расположенного выше подошвы фундамента, вычисленное без учета взвешивающего действия воды, допускается принимать  $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$ ;  $k_1$ ,  $k_2$  – коэффициенты, принимаемые по СНиП 2.05.03-84\* [3].

Если условие 8 выполняется, то переходят непосредственно к выполнению этапа №4. В противном случае выполняется этап №3.

#### **4.3. Корректировка глубины заложения и размеров фундамента**

Если для минимального фундамента условие 8 не выполняется, то приходится увеличивать размеры площади подошвы фундамента и подбором определять оптимальное выражение этого условия, то есть:

$$p = R / 1,4. \quad (16)$$

Это увеличение достигается с использованием угла жесткости  $\alpha$ , который обеспечивает возникновение в теле фундамента только сжимающих напряжений. Для данного типа фундамента значение этого угла принимается равным  $30^\circ$ .

Значение площади, при которой выполняется условие 16, определяется подбором, например с использованием графика в такой последовательности:

– задается в возрастающем порядке ряд значений глубины заложения фундамента  $d$ :

$$d_0, d_1, \dots d_i,$$

где  $d_0=d_{\min}$ ;  $d_i=d_0+i\cdot\Delta$ ;  $\Delta$  – от 0,3 м до 0,5 м;

– для каждой из этих глубин заложения определяются размеры стороны подошвы прямоугольного фундамента:

$$b_{\min}, a_{\min}; b_1, a_1; \dots b_i, a_i,$$

где  $b_i=b_{\min}+2\cdot(d_0+i\cdot\Delta)\cdot\operatorname{tg}\alpha$  и  $a_i=a_{\min}+2\cdot(d_0+i\cdot\Delta)\cdot\operatorname{tg}\alpha$ ; (17)

– определяют площадь этих фундаментов:

$$A_{\min}, A_1, \dots A_i;$$

– конструирование ступенчатой формы каждого фундамента.

Высоту ступеней рекомендуют принимать в пределах от 0,7-2,5 м, ширину – в пределах 0,4-1,0 м. В случае необходимости высота ступеней может быть различной;

– определение давления по подошве принятых фундаментов  $p_0, p_1, \dots p_i$ .

В отличие от давления, определяемого для фундамента минимальных размеров в формуле 13, необходимо учесть давление от веса грунта на уступах фундамента ( $N_{гр}$ ), то есть:

$$p = \frac{\Sigma N_{0,II} + N_{\phi} + N_{гр}}{A}; \quad (18)$$

– определение по формуле 15 расчетных сопротивлений грунта основания для принятых фундаментов  $R_0, R_1, \dots R_i$ ;

– построение совмещенных графиков функций  $p_i=f_1(d_i)$  и  $R_i/1,4=f_2(d_i)$ ;

– точка пересечения этих графиков позволяет определить значение  $h$ , при котором выполняется условие (16);

– конструирование ступенчатого фундамента, удовлетворяющего условию (16).

#### 4.4. Расчет по I группе предельных состояний (по несущей способности)

##### 4.4.1. Проверка несущей способности грунта основания

Для внецентренно загруженного фундамента необходимо выполнение условий:

$$p_{\max} \leq R / 1,4, \quad p_{\min} \geq 0, \quad (19)$$

где  $p_{\max} = \frac{\Sigma N_{0,II} + N_{\phi} + N_{гр}}{A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y}$ ,

$$p_{min} = \frac{\Sigma N_{0,II} + N_{\phi} + N_{гр}}{A} - \frac{M_x}{W_x} - \frac{M_y}{W_y}, \quad (20)$$

где  $\Sigma N_{0,II}$ ,  $N_{\phi}$ ,  $N_{гр}$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $A$ ,  $R$ , приведены в разделе 3 и формулах (13), (15), (18);  $W_x$ ,  $W_y$  – моменты сопротивления подошвы фундамента, относительно главных осей площади подошвы фундамента.

#### 4.4.2. Проверка несущей способности прослойки подстилающего слоя грунта

Данная проверка производится в соответствии с условием:

$$\gamma \cdot (d + z_i) + \alpha \cdot p_0 \leq \frac{R}{1.4}, \quad (21)$$

где  $\gamma$  – среднее (по слоям) значение расчетного удельного веса грунта, расположенного над кровлей проверяемого подстилающего слоя грунта, допускается принимать  $\gamma = 19,62 \text{ кН/м}^3$  ( $2 \text{ т/м}^3$ );  $d$  – глубина заложения фундамента, м;  $z_i$  – расстояние от подошвы фундамента до поверхности проверяемого подстилающего слоя грунта, м;  $\alpha$  и  $p_0$  – параметры, принимаемые как при расчете осадки грунта основания (см расчет по II группе предельных состояний);  $R$  – расчетное сопротивление подстилающего грунта для глубины кровли проверяемого слоя грунта, определяется по формуле (15).

#### 4.4.3. Проверка на сдвиг по подошве фундамента

Эта проверка предусматривает, что суммарная сдвигающая горизонтальная нагрузка в плоскости подошвы фундамента  $T$  не должна превосходить расчетного значения удерживающих сил в этой плоскости  $T_u$ , то есть:

$$T \leq \frac{m}{\gamma_n} T_u, \quad (22)$$

где  $m$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным 0,9;  $\gamma_n$  – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1.

Значение  $T$  определяют как сумму проекций сдвигающих горизонтальных сил на направление сдвига. Удерживающие силы  $T_u$  включают силы трения по подошве фундамента  $T_1$  и пассивное давление по боковой поверхности фундамента  $T_2$ .

Силы трения определяют из выражения:

$$T_1 = \mu \cdot (\Sigma N_{0,II} + N_{\phi} + N_{гр}), \quad (23)$$

где  $\Sigma N_{0,II}$ ,  $N_{\phi}$ ,  $N_{гр}$  – см. обозначения к формулам (13) и (18);  $\mu$  – коэффициент трения подошвы фундамента и грунта основания. Его значение рекомендуют принимать при грунте основания суглинок и супесь – 0,3, песков – 0,4, гравий – 0,5.

#### 4.4.4. Проверка фундамента на опрокидывание

Условие проверки фундамента на опрокидывание имеет вид:

$$M_{\text{оп}} \leq \frac{m}{\gamma_n} \cdot M_{\text{уд}}, \quad (24)$$

где  $M_{\text{оп}}$ ,  $M_{\text{уд}}$  – суммарные моменты опрокидывающих и удерживающих сил от возможного поворота относительно главной оси площади подошвы фундамента;  $m$  и  $\gamma_n$  – коэффициенты условий работы и надежности, принимаемые  $m=0,8$ ;  $\gamma_n=1,1$ .

#### 4.5. Расчет по II группе предельных состояний (по деформациям)

##### 4.5.1. Проверка осадки фундамента

Исходным условием для этой проверки служит неравенство

$$S \leq S_u, \quad (25)$$

где  $S_u$  – допустимая равномерная осадка опоры, определяемая из выражения:

$$S_u = 1,5\sqrt{L}, \quad (26)$$

где  $L$  – длина меньшего из примыкающих к опоре пролетов, но не менее 25 м.  $S$  – расчетная осадка опоры, определяемая методом элементарного послойного суммирования [2].

Расчет этим методом выполняется в такой последовательности:

1. Разбивка залегающего под фундаментом грунта на отдельные условные слои высотой не более  $0,4b$ , где  $b$  – ширина фундамента.

2. Построение эпюры давления от собственного веса грунта  $\sigma_{zg}$ . Начало вертикальной оси координат  $z$  принимается на уровне поверхности грунта. Для построения эпюры при однородном грунте с удельным весом  $\gamma$  исходной формулой служит:

$$\sigma_{zg} = \gamma \cdot z. \quad (27)$$

3. Построение эпюры избыточного давления  $\sigma_{zp}$ .

Ординаты этой эпюры определяют по формуле:

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot (p_{\text{ср}} - \gamma' \cdot d) = \alpha \cdot p_0, \quad (28)$$

где  $\alpha$  – коэффициент понижения давления с глубиной определяется по таблицам [2];  $p$  – среднее давление по подошве фундамента;  $p_0$  – избыточное давление на уровне подошвы фундамента;  $d$  – глубина заложения фундамента;  $\gamma'$  – удельный вес грунта выше подошвы фундамента.

4. Определение глубины сжимаемой толщи.

На нижней границе этой толщи должно выполняться условие:

$$\sigma_{zp} = 0,2 \sigma_{zg}, \quad (29)$$

5. Определение осадки в пределах сжимаемой толщи:

$$S = \sum_1^n S_i, \quad (30)$$

где  $n$  – число слоев в пределах сжимаемой толщи;  $S_i$  – осадка  $i$ -го слоя, определяемая по формуле:

$$S_i = \beta \cdot \frac{\sigma_{zpi}^{cp} \cdot h_i}{E_i}, \quad (31)$$

где  $\beta$  – безразмерный коэффициент, равный 0,8;  $\sigma_{zpi}^{cp}$  – среднее избыточное давление в слое;  $h_i$  – высота слоя;  $E_i$  – модуль деформации грунта, в котором расположен слой.

Общий вид графической схемы при расчете данным методом приведен на рисунке 1.

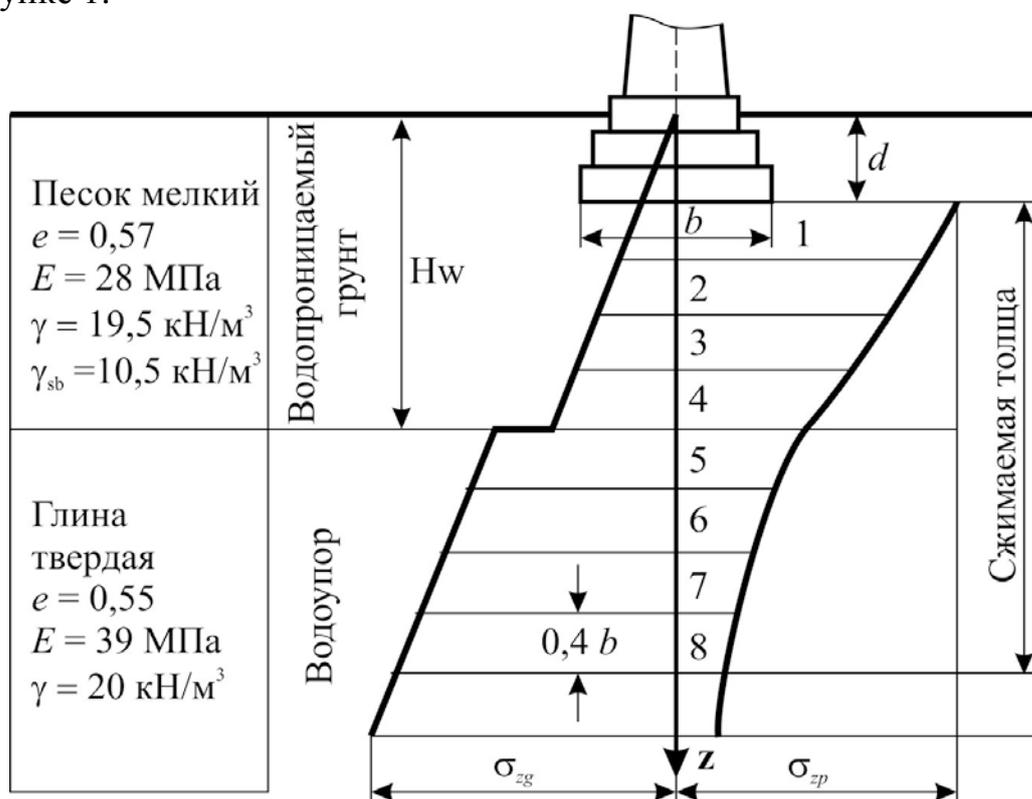


Рис. 1

#### 4.5.2. Проверка на относительный эксцентриситет

Условие, обеспечивающее устойчивость фундамента на действие внецентренно приложенных нагрузок, имеет вид:

$$\bar{e} \leq \bar{e}_u, \quad (32)$$

где  $\bar{e}$  – относительный эксцентриситет, а  $\bar{e}_u$  – его предельное значение.

Формулы, используемые для определения  $\bar{e}$ :

$$\bar{e} = \frac{e}{\rho}, e = \frac{M}{N}, \rho = \frac{W}{A}, \quad (33)$$

где  $e$  – эксцентриситет равнодействующих нагрузок относительно центра тяжести площади фундамента;  $M$ ,  $N$  – суммарные моменты и вертикальные нагрузки, действующие относительно центральной оси подошвы фундамента;  $\rho$  – радиус ядра сечений;  $W$ ,  $A$  – момент сопротивления и площадь подошвы фундамента. При прямоугольной площади подошвы фундамента  $\rho = b/6$ .

Величина  $\bar{e}_u$  принимается:

- при учете только постоянных нагрузок – 0,1;
- при наиболее невыгодном сочетании нагрузок 1,0.

## 5. Проектирование свайного фундамента

В настоящем разделе рассматривается проектирование фундамента с низким ростверком. Оно выполняется методом подбора в следующей последовательности:

1. Назначение минимальных размеров ростверка;
2. Выбор типоразмера свай;
3. Определение несущей способности и расчетной нагрузки на одиночную сваю;
4. Определение количества свай и формирование свайного поля с учетом минимальной площади ростверка;
5. Если минимальная площадь подошвы ростверка не обеспечивает размещение свай в плане, то необходимо изменить типоразмеры свай и повторить расчет. В итоге определяется количество свай и уточняются размеры ростверка;
6. Выполнение расчетов по I и II группе предельных состояний.

Минимальные размеры ростверка принимаются как и для фундамента мелкого заложения. Отметим, что в этом случае глубина заложения для путевода в пучинистых грунтах зависит от расчетной глубины промерзания. Из конструктивных соображений рекомендуют назначать эту глубину не менее 2 м.

Выбор типоразмера свай определяется на основе анализа действующих нагрузок и инженерно-геологических условий.

Расчетную нагрузку на сваи ( $N$ ) нормы [4] рекомендуют определять из условия:

$$N \leq \frac{F_d}{\gamma_k}, \quad (34)$$

где  $F_d$  – несущая способность сваи по грунту;  $\gamma_k$  – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,4.

Несущая способность сваи определяется расчетным путем по рекомендациям норм [4]. Зная расчетную нагрузку на сваю, определяют площадь ростверка по формуле:

$$A_p = \frac{\Sigma N_1^0}{(p_p - \gamma_f \cdot \gamma_{cp} \cdot d_p)}, \quad (35)$$

где  $\Sigma N_1^0$  – суммарная вертикальная расчетная нагрузка с учетом веса ростверка;  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке, равный 1,1;  $\gamma_{cp}$  – осредненный удельный вес материала ростверка, у ростверка без уступов  $\gamma_{cp} = 24 \text{ кН/м}^3$ , у ростверка с учетом веса грунта на уступах  $\gamma_{cp} = 22 \text{ кН/м}^3$ ;  $d_p$  – глубина заложения ростверка;  $p_p$  – условное давление под подошвой ростверка определяется по формуле:

$$p_p = N / (3d)^2, \quad (36)$$

где  $N$  – расчетная нагрузка на сваю;  $d$  – характерный размер сваи (размер стороны сваи квадратного сечения, диаметр и т.п.)

Если по результатам расчета по формуле (35) получаем, что  $A_p > A_p^{min}$ , то необходимо увеличить типоразмер сваи и повторить расчет. В процессе дальнейших расчетов возможно увеличение площади ростверка за счет использования угла жесткости  $\alpha$ . В этом случае форма фундамента принимается с уступами, как и при проектировании фундамента мелкого заложения.

После определения основных параметров фундамента определяется количество свай из выражения:

$$n = \frac{\eta \cdot (N_p + \Sigma N_1^0)}{N}, \quad (37)$$

где  $\eta$  – коэффициент, учитывающий действие момента, принимаемый равным 1,4;  $N_p$  – вес ростверка.

Плановое размещение свай в плите ростверка производится в рядовом или шахматном порядке. При расположении свай необходимо добиваться их равномерного загрузения. С этим связана необходимость располагать ряды свай с переменным шагом. Оптимальное расстояние в осях между рядами вертикальных свай составляет от  $3d$  до  $4d$ . Максимальный шаг между сваями не должен превышать  $6d$ , минимальный –  $2,5d$ . Расстояние между боковой поверхностью крайних свай и краем плиты ростверка принимается равным  $0,25 \text{ м}$ .

При внецентренно прикладываемой нагрузке можно принимать как равномерное распределение свай в плане, так и неравномерное. В первом случае одинаковое их загрузение обеспечивается увеличением плиты ростверка до совмещения точки приложения равнодействующей с центром тяжести свайного поля. Этот способ и рекомендуется при выполнении настоящей курсовой работы.

### **5.1. Проверка по I группе предельных состояний (по несущей способности)**

Давление по подошве условного фундамента определяют, рассматривая свайный фундамент как массивный прямоугольный параллелепипед, размеры которого указаны в [3]. Средний угол внутреннего трения, значение которого используется для определения размеров условного фундамента, определяют по формуле:

$$\varphi_m = \frac{\sum \varphi_{li} h_i}{\sum h_i}, \quad (38)$$

где  $\varphi_{li}$  – расчетный угол внутреннего трения  $i$ -го слоя грунта;  $h_i$  – мощность  $i$ -го слоя грунта;  $\sum h_i$  – глубина погружения свай от подошвы ростверка или от низа тампонажной подушки.

Несущую способность основания условного фундамента проверяют по формулам:

$$P \leq \frac{R}{\gamma_n} \text{ и } P_{max} \leq \frac{\gamma_c R}{\gamma_n}, \quad (39)$$

где  $P$  и  $P_{max}$  – среднее и максимальное давление на грунт по подошве условного фундамента, определяемые по рекомендациям [3];  $R$  – расчетное сопротивление грунта под подошвой условного фундамента, вычисляемое по формуле (15);  $\gamma_n = 1,4$ ;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,0 для первого сочетания расчетных постоянных нагрузок и  $\gamma_c = 1,2$  – для всех других сочетаний.

### **5.2. Проверка по II группе предельных состояний (по деформациям)**

В курсовой работе расчет осадки фундамента производится только на действие I-го сочетания нормативных нагрузок с коэффициентами перегрузки, равными единице. Свайный фундамент заменяют условным массивным фундаментом, как это указано в [3]. Необходимо лишь обратить внимание на то, что средний угол внутреннего трения определяется по значениям  $\varphi_{li}$ .

Осадку фундамента определяют методом послойного суммирования. Среднее давление на грунт по подошве условного массивного фундамента с площадью  $A_{yc}$  находят по формуле:

$$P_{cp} = \frac{\sum N_{II}}{A_{yc}}, \quad (40)$$

где  $\sum N_{II}$  – равнодействующая вертикальных нормативных нагрузок, передаваемых по подошве условного массивного фундамента;  $A_{yc}$  – площадь подошвы этого фундамента.

Среднее давление по подошве  $P_{cp}$  не должно превышать значения  $R$ , оп-

ределяемого по рекомендациям [3] (см. раздел расчета по II группе предельных состояний). Если фундамент опирается на водонепроницаемый грунт, то находят как сумму веса фундамента, веса грунта и воды, находящихся в объеме условного фундамента и веса воды над ним. Если фундамент опирается на водопроницаемый грунт, то расчет производят с учетом взвешивания тела фундамента и грунта в воде.

## Приложение 1

### 1. Варианты схем путепровода

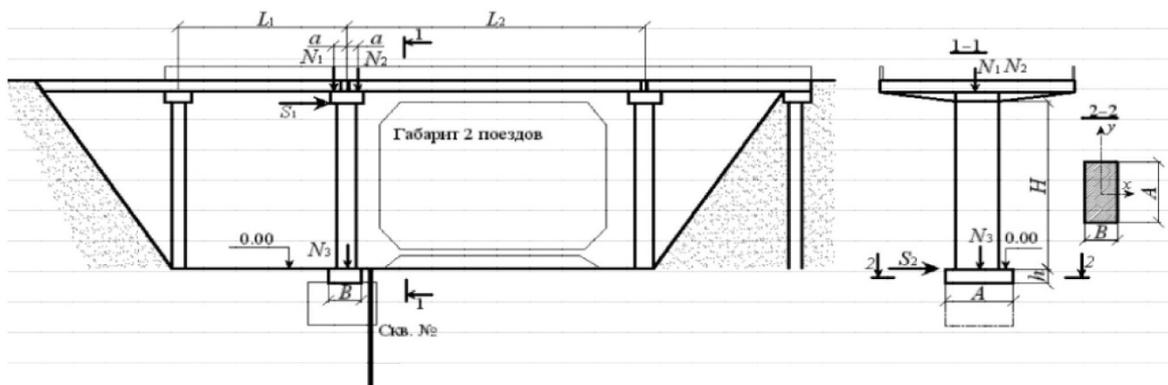


Рис. 1.П1 – Схема 1

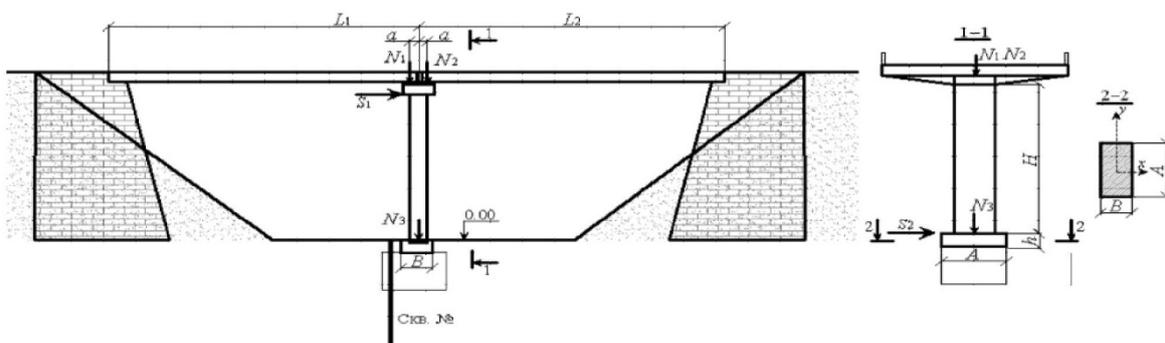


Рис. 2.П1 – Схема 2

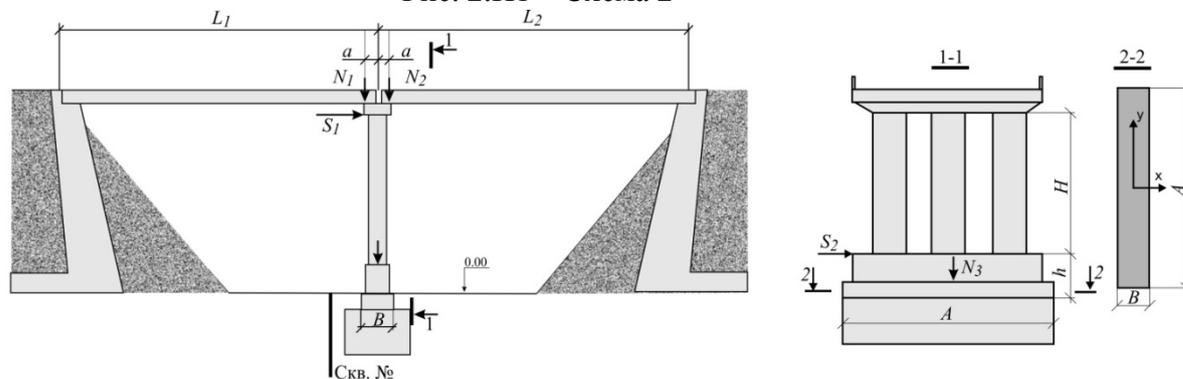


Рис. 3.П1 – Схема 3

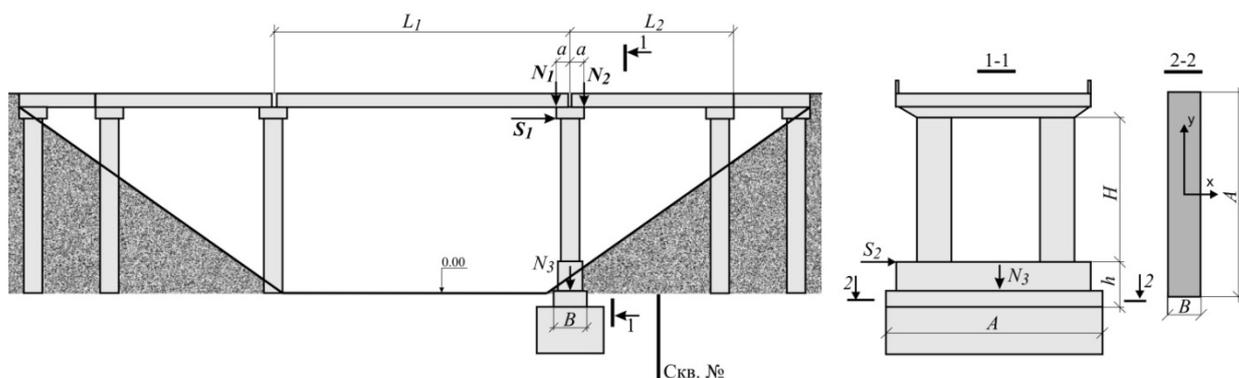


Рис. 4.П1 – Схема 4

Таблица 1.П1 – Варианты заданий на проектирование, размеры опоры и нагрузки

Номер варианта	Номер мостовой схемы	Геометрические размеры, м							Нормативные усилия, кН				
		$L_1$	$L_2$	$A_{on}$	$B_{on}$	$H$	$h$	$a$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$S_1$	$S_2$
1	1	6	18	6	1,8	8,5	1,0	0,5	283	877	200	14	71
2	2	24	24	6	1,5	7,6	1,0	0,5	1124	1124	149	13	64
3	3	28	28	12	1,5	9,5	1,0	0,5	1353	1353	293	32	160
4	4	9	21	12	1,7	11,5	1,0	0,5	432	968	402	39	193
5	1	9	18	6	1,8	10,5	1,0	0,5	432	877	247	18	88
6	2	18	22	6	1,5	14,5	1,0	0,5	877	968	285	24	122
7	3	24	28	12	1,5	8,5	1,0	0,5	1124	1353	262	29	143
8	4	12	21	12	1,7	12,5	1,0	0,5	576	968	437	42	210
9	1	12	18	6	1,8	6,5	1,0	0,5	576	877	153	11	55
10	2	22	22	6	1,5	7,5	1,0	0,5	968	968	147	13	63
11	3	24	24	12	1,5	9,5	1,0	0,5	1124	1124	293	32	160
12	4	9	18	12	1,7	15,0	1,0	0,5	432	877	525	50	252
13	1	6	18	6	1,8	10,0	1,0	0,5	283	877	236	17	84
14	2	24	24	6	1,5	12,5	1,0	0,5	1124	1124	245	21	105
15	3	28	28	12	1,5	6,5	1,0	0,5	1353	1353	201	22	109
16	4	9	21	12	1,7	11,5	1,0	0,5	432	968	402	39	193
17	1	9	18	6	1,8	8,5	1,0	0,5	432	877	200	14	71
18	2	18	22	6	1,5	6,3	1,0	0,5	877	968	124	11	53
19	3	24	28	12	1,5	7,8	1,0	0,5	1124	1353	241	26	131
20	4	12	21	12	1,7	8,1	1,0	0,5	576	968	283	27	136
21	1	12	18	6	1,8	6,5	1,0	0,5	576	877	153	11	55
22	2	22	22	6	1,5	8,5	1,0	0,5	968	968	167	14	71
23	3	24	24	12	1,5	4,5	1,0	0,5	1124	1124	139	15	76
24	4	9	18	12	1,7	12,5	1,0	0,5	432	877	437	42	210
25	1	6	18	6	1,8	11,0	1,0	0,5	283	877	259	18	92
26	2	24	24	6	1,5	7,5	1,0	0,5	1124	1124	147	13	63
27	3	28	28	12	1,5	13,5	1,0	0,5	1353	1353	417	45	227
28	4	9	21	12	1,7	8,6	1,0	0,5	432	968	301	29	144
29	1	9	18	6	1,8	8,2	1,0	0,5	432	877	193	14	69

30	2	18	22	6	1,5	8,0	1,0	0,5	877	968	157	13	67
31	3	24	28	12	1,5	9,5	1,0	0,5	1124	1353	293	32	160
32	4	12	21	12	1,7	6,5	1,0	0,5	576	968	227	22	109

Таблица 2.П1 – Варианты инженерно-геологических условий

Вариант 1			Вариант 2			Вариант 3		
Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта	Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта	Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта
Песок крупный	- 6,00	$\rho_s = 2,63 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,96 \text{ т/м}^3$ $E = 29,9 \text{ МПа}$ $W = 0,25$ $D = 0,9$ $\varphi_{II} = 36^0$ $c = 0 \text{ кПа}$	Песок мелкий	- 4,00	$\rho_s = 2,59 \text{ т/м}^3$ $\rho = 2,04 \text{ т/м}^3$ $E = 20,0 \text{ МПа}$ $W = 0,20$ $D = 5,8$ $\varphi_{II} = 36^0$ $c = 3 \text{ кПа}$	Песок средней крупности	- 6,50	$\rho_s = 2,63 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,88 \text{ т/м}^3$ $E = 31,5 \text{ МПа}$ $W = 0,18$ $D = 1,5$ $\varphi_{II} = 35^0$ $c = 1 \text{ кПа}$
Супесь	- 9,00	$\rho_s = 2,73 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,89 \text{ т/м}^3$ $E = 15,1 \text{ МПа}$ $W_L = 0,22$ $W_P = 0,17$ $W = 0,19$ $\varphi_{II} = 22^0$ $c = 13 \text{ кПа}$	Супесь	- 7,00	$\rho_s = 2,69 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,79 \text{ т/м}^3$ $E = 14,4 \text{ МПа}$ $W_L = 0,25$ $W_P = 0,20$ $W = 0,22$ $\varphi_{II} = 17^0$ $c = 9 \text{ кПа}$	Суглинок	- 10,00	$\rho_s = 2,77 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,98 \text{ т/м}^3$ $E = 8,7 \text{ МПа}$ $W_L = 0,38$ $W_P = 0,26$ $W = 0,33$ $\varphi_{II} = 13^0$ $c = 14 \text{ кПа}$
Глина		$\rho_s = 2,78 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,99 \text{ т/м}^3$ $E = 24,7 \text{ МПа}$ $W_L = 0,44$ $W_P = 0,21$ $W = 0,26$ $\varphi_{II} = 18^0$ $c = 56 \text{ кПа}$	Глина		$\rho_s = 2,77 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,98 \text{ т/м}^3$ $E = 22,6 \text{ МПа}$ $W_L = 0,42$ $W_P = 0,24$ $W = 0,29$ $\varphi_{II} = 18^0$ $c = 52 \text{ кПа}$	Глина		$\rho_s = 2,77 \text{ т/м}^3$ $\rho = 2,17 \text{ т/м}^3$ $E = 30,8 \text{ МПа}$ $W_L = 0,42$ $W_P = 0,166$ $W = 0,18$ $\varphi_{II} = 26^0$ $c = 52 \text{ кПа}$

Вариант 4			Вариант 5			Вариант 6		
Вид	Отметка	Характеристики	Вид	Отметка	Характеристики	Вид	Отметка	Характеристики

грунта	ка подошвы слоя	стики грунта	грунта	ка подошвы слоя	стики грунта	грунта	ка подошвы слоя	стики грунта
Песок пылеватый	- 8,00	$\rho_s = 2,71$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,89$ т/м <sup>3</sup> $E = 13,4$ МПа $W_L = 0,32$ $D = 7,8$ $\varphi_{II} = 24^0$ $c = 2$ кПа	Супесь	- 5,50	$\rho_s = 2,69$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,69$ т/м <sup>3</sup> $E = 13,8$ МПа $W_L = 0,14$ $W_P = 0,08$ $W = 0,11$ $\varphi_{II} = 20^0$ $c = 12$ кПа	Супесь	- 4,00	$\rho_s = 2,69$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,69$ т/м <sup>3</sup> $E = 13,3$ МПа $W_L = 0,14$ $W_P = 0,08$ $W = 0,13$ $\varphi_{II} = 18^0$ $c = 14$ кПа

Продолжение таблицы 2.П1

Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта	Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта	Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта
Суглинок	- 12,00	$\rho_s = 2,77$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,98$ т/м <sup>3</sup> $E = 14,7$ МПа $W_L = 0,36$ $W_P = 0,26$ $W = 0,28$ $\varphi_{II} = 20^0$ $c = 22$ кПа	Песок мелкий	- 9,00	$\rho_s = 2,59$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,84$ т/м <sup>3</sup> $E = 26,7$ МПа $W = 0,20$ $D = 6,4$ $\varphi_{II} = 32^0$ $c = 2$ кПа	Песок крупный	- 8,00	$\rho_s = 2,63$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,96$ т/м <sup>3</sup> $E = 32,8$ МПа $W = 0,25$ $D = 2,1$ $\varphi_{II} = 32^0$ $c = 0$ кПа
Глина		$\rho_s = 2,78$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,99$ т/м <sup>3</sup> $E = 24,8$ МПа $W_L = 0,44$ $W_P = 0,17$ $W = 0,24$ $\varphi_{II} = 19^0$ $c = 50$ кПа	Суглинок		$\rho_s = 2,72$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 2,00$ т/м <sup>3</sup> $E = 26,8$ МПа $W_L = 0,35$ $W_P = 0,24$ $W = 0,25$ $\varphi_{II} = 17^0$ $c = 24$ кПа	Суглинок		$\rho_s = 2,72$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 2,00$ т/м <sup>3</sup> $E = 26,8$ МПа $W_L = 0,35$ $W_P = 0,24$ $W = 0,25$ $\varphi_{II} = 17^0$ $c = 24$ кПа

Вариант 7			Вариант 8		
Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта	Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта

Песок средней крупности	- 6,50	$\rho_s = 2,63 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,88 \text{ т/м}^3$ $E = 20,6 \text{ МПа}$ $W = 0,18$ $D = 3,5$ $\varphi_{II} = 35^0$ $c = 1 \text{ кПа}$	Песок пылеватый	- 5,00	$\rho_s = 2,71 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,89 \text{ т/м}^3$ $E = 14,5 \text{ МПа}$ $W = 0,32$ $D = 8,3$ $\varphi_{II} = 24^0$ $c = 2 \text{ кПа}$
Торф	- 6,00	$\rho_s = 1,67 \text{ т/м}^3$ $\rho = 0,92 \text{ т/м}^3$ $E(30) = 0,1 \text{ МПа}$ $E(80) = 0,15 \text{ МПа}$ $W = 7,1$ $\varphi_{II} = 10^0$ $c = 14 \text{ кПа}$	Торф	- 7,00	$\rho_s = 2,0 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,06 \text{ т/м}^3$ $E(30) = 0,13 \text{ МПа}$ $E(80) = 0,18 \text{ МПа}$ $W = 3,5$ $\varphi_{II} = 14^0$ $c = 14 \text{ кПа}$

Продолжение таблицы 2.П1

Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта	Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта
Суглинок	- 10,00	$\rho_s = 2,77 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,98 \text{ т/м}^3$ $E = 13,6 \text{ МПа}$ $W_L = 0,37$ $W_P = 0,24$ $W = 0,33$ $\varphi_{II} = 13^0$ $c = 14 \text{ кПа}$	Супесь	- 12,00	$\rho_s = 2,72 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,89 \text{ т/м}^3$ $E = 14,7 \text{ МПа}$ $W_L = 0,37$ $W_P = 0,24$ $W = 0,28$ $\varphi_{II} = 18^0$ $c = 20 \text{ кПа}$
Глина		$\rho_s = 2,77 \text{ т/м}^3$ $\rho = 2,17 \text{ т/м}^3$ $E = 20,1 \text{ МПа}$ $W_L = 0,42$ $W_P = 0,17$ $W = 0,18$ $\varphi_{II} = 17^0$ $c = 48 \text{ кПа}$	Глина		$\rho_s = 2,78 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,99 \text{ т/м}^3$ $E = 27,8 \text{ МПа}$ $W_L = 0,44$ $W_P = 0,17$ $W = 0,24$ $\varphi_{II} = 19^0$ $c = 50 \text{ кПа}$

Вариант 9			Вариант 10		
Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта	Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта
Суглинок	- 6,50	$\rho_s = 2,75 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,87 \text{ т/м}^3$ $E = 9,17 \text{ МПа}$	Суглинок	- 7,00	$\rho_s = 2,73 \text{ т/м}^3$ $\rho = 1,75 \text{ т/м}^3$ $E = 11,15 \text{ МПа}$

		$W_L = 0,36$ $W_P = 0,26$ $W = 0,36$ $\varphi_{II} = 11^0$ $c = 13$ кПа			$W_L = 0,31$ $W_P = 0,15$ $W = 0,18$ $\varphi_{II} = 18^0$ $c = 20$ кПа
Г лина		$\rho_s = 2,76$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,89$ т/м <sup>3</sup> $E = 13,9$ МПа $W_L = 0,48$ $W_P = 0,24$ $W = 0,30$ $\varphi_{II} = 16^0$ $c = 41$ кПа	Г лина		$\rho_s = 2,75$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,91$ т/м <sup>3</sup> $E = 14,6$ МПа $W_L = 0,51$ $W_P = 0,32$ $W = 0,34$ $\varphi_{II} = 15^0$ $c = 42$ кПа

Продолжение таблицы 2.П1

Вариант 11			Вариант 12		
Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта	Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта
Супесь	- 3,00	$\rho_s = 2,69$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,69$ т/м <sup>3</sup> $E = 20,0$ МПа $W_L = 0,14$ $W_P = 0,08$ $W = 0,12$ $\varphi_{II} = 20^0$ $c = 12$ кПа	Супесь	- 6,00	$\rho_s = 2,69$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,69$ т/м <sup>3</sup> $E = 20,0$ МПа $W_L = 0,14$ $W_P = 0,08$ $W = 0,12$ $\varphi_{II} = 20^0$ $c = 12$ кПа
Песок крупный	- 4,00	$\rho_s = 2,63$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,96$ т/м <sup>3</sup> $E = 34,4$ МПа $W = 0,25$ $D = 2,1$ $\varphi_{II} = 32^0$ $c = 0$ кПа	Торф	- 10,00	$\rho_s = 2,59$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,7$ т/м <sup>3</sup> $E = 23,6$ МПа $W = 0,18$ $D = 6,7$ $\varphi_{II} = 30^0$ $c = 0$ кПа
Суглинок	- 12,00	$\rho_s = 2,72$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,89$ т/м <sup>3</sup> $E = 20,9$ МПа $W_L = 0,37$ $W_P = 0,24$ $W = 0,26$ $\varphi_{II} = 22^0$ $c = 22$ кПа	Супесь	- 16,00	$\rho_s = 2,72$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,89$ т/м <sup>3</sup> $E = 20,0$ МПа $W_L = 0,37$ $W_P = 0,24$ $W = 0,26$ $\varphi_{II} = 22^0$ $c = 22$ кПа
Г лина		$\rho_s = 2,78$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,99$ т/м <sup>3</sup> $E = 27,8$ МПа $W_L = 0,44$	Г лина		$\rho_s = 2,78$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,99$ т/м <sup>3</sup> $E = 27,8$ МПа $W_L = 0,44$

		$W_p = 0,17$ $W = 0,24$ $\varphi_{II} = 18^0$ $c = 48$ кПа			$W_p = 0,17$ $W = 0,24$ $\varphi_{II} = 18^0$ $c = 48$ кПа
--	--	---	--	--	---

Вариант 13			Вариант 14		
Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта	Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта
Супесь	- 6,50	$\rho_s = 2,76$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,81$ т/м <sup>3</sup> $E = 15,1$ МПа $W_L = 0,16$ $W_p = 0,13, W = 0,14$ $\varphi_{II} = 22^0$ $c = 14$ кПа	Супесь	- 5,00	$\rho_s = 2,70$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,81$ т/м <sup>3</sup> $E = 14,7$ МПа $W_L = 0,16$ $W_p = 0,13, W = 0,14$ $\varphi_{II} = 22^0$ $c = 14$ кПа

Окончание таблицы 2.П1

Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта	Вид грунта	Отметка подошвы слоя	Характеристики грунта
Песок Крупный	- 9,00	$\rho_s = 2,65$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,86$ т/м <sup>3</sup> $E = 23,3$ МПа $W = 0,25$ $D = 7,3$ $\varphi_{II} = 36^0$ $c = 1$ кПа	Песок крупный	- 6,00	$\rho_s = 2,65$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,86$ т/м <sup>3</sup> $E = 23,3$ МПа $W = 0,25$ $D = 2,5$ $\varphi_{II} = 36^0$ $c = 0$ кПа
Суглинок		$\rho_s = 2,80$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 2,05$ т/м <sup>3</sup> $E = 12,3$ МПа $W_L = 0,30$ $W_p = 0,17, W = 0,24$ $\varphi_{II} = 14^0$ $c = 16$ кПа	Суглинок		$\rho_s = 2,80$ т/м <sup>3</sup> $\rho = 1,84$ т/м <sup>3</sup> $E = 12,3$ МПа $W_L = 0,36$ $W_p = 0,21, W = 0,23$ $\varphi_{II} = 20^0$ $c = 19$ кПа

## Приложение 2

### 1.П2 Исходные данные для классификации грунта по ГОСТ 25100-2011 [1]

#### Основные характеристики грунта:

$\rho$  – плотность грунта;

$\rho_s$  – плотность твердых частиц;

$\rho_v$  – плотность воды;

$W$  – влажность природная;

$W_p$  – влажность на границе раскатывания;

$W_L$  – влажность на границе текучести;

$K_\phi$  – коэффициент фильтрации.

### **Производные характеристики грунта:**

$\rho_d$  – плотность в сухом состоянии (скелета);

$\gamma$  – удельный вес;

$\gamma_s$  – удельный вес твердых частиц;

$\gamma_d$  – удельный вес сухого (скелета) грунта;

$\gamma_{sb}$  – удельный вес взвешенного в воде грунта;

$W_{sat}$  – влажность, соответствующая полному насыщению (полная влагоемкость);

$e$  – коэффициент пористости;

$n$  – объем пор в единичном объеме;

$m$  – объем твердых частиц в единичном объеме;

$S_r$  – коэффициент водонасыщения (степень влажности);

$I_p$  – число пластичности;

$I_L$  – показатель текучести;

$\epsilon_{fn}$  – относительная деформация морозного пучения;

$D$  – дисперсность – показатель для оценки пучинистых свойств песчаного грунта;

$R_f$  – показатель для оценки пучинистых свойств песчаного грунта.

### **Прочностные и деформационные характеристики грунта:**

$\phi$  – угол внутреннего трения;

$C$  – удельное сцепление;

$E$  – модуль деформации;

$m$  – модуль сжимаемости;

$m_0$  – модуль относительной сжимаемости.

## **2.П2 Расчетные формулы для определения производных характеристик грунта**

Плотность сухого (скелета) грунта:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+W}.$$

Удельные веса:  $\gamma = g\rho$ ;  $\gamma_s = g\rho_s$ ;  $\gamma_d = g\rho_d$ ;  $\gamma_B = g\rho_B$ ;

$$\gamma_{sb} = (\gamma_s - \gamma_B)m = (\gamma_s - \gamma_B)(1 - n) = (\gamma_s - \gamma_B) \frac{1}{1+e},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ ,  $\rho_B$  – плотность воды,  $\rho_B = 1 \text{ г/см}^3$  ( $1 \text{ т/м}^3$ ).

Чтобы получить размерность удельного веса в Ньютонах на единицу объема, необходимо размерность плотности принимать в килограммах на

единицу объема.

Коэффициент пористости:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho} (1 + w) - 1.$$

Объем пор и твердых частиц в единице объема:

$$n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} = \frac{e}{1+e}, \quad m = \frac{\rho_d}{\rho_s} = \frac{1}{1+e}.$$

Влажность при полном водонасыщении (полная влагоемкость):

$$w_{sat} = \frac{e\rho_B}{\rho_s}.$$

Коэффициент водонасыщения (степень влажности):

$$S_r = \frac{w\rho_s}{e\rho_B}.$$

Число пластичности:

$$I_p = W_L - W_p.$$

Показатель текучести:

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}.$$

Относительная деформация морозного пучения:

$$e_{fn} = \frac{h_{of} - h_0}{h_0},$$

где  $h_0$  – начальная высота образца талого грунта до замерзания,  $h_{of}$  – высота образца грунта после промерзания.

### 3.П2 Классификация природного дисперсного грунта по ГОСТ 25100-2011 [1]

#### Песчаный грунт

По гранулометрическому составу подразделяют согласно таблице 1.П2.

Таблица 1.П2

Разновидность грунтов	Размер зерен, частиц d, мм	Содержание зерен, частиц, % по массе
гравелистый	> 2	> 25
крупный	> 0,50	> 50
средней крупности	> 0,25	> 50
мелкий	> 0,1	≥ 75
пылеватый	> 0,1	< 75

По коэффициенту водонасыщения  $S_r$  подразделяют согласно таблице 2.П2.

Таблица 2.П2

Разновидность грунтов	Коэффициент водонасыщения $S_r$ , д.е.
-----------------------	--

малой степени водонасыщения	0,0 – 0,50
средней степени водонасыщения	0,5 – 0,80
насыщенные водой	0,8 – 1,00

По коэффициенту пористости  $e$  и разновидности песчаного грунта по гранулометрическому составу подразделяют согласно таблице 3.П2.

Таблица 3.П2

Разновидность песков	Коэффициент пористости $e$		
	Пески гравелистые, крупные и средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотный	< 0,55	< 0,60	< 0,60
Средней плотности	0,55 – 0,7	0,6 – 0,75	0,6 – 0,8
Рыхлый	> 0,7	> 0,75	> 0,80

### Глинистый грунт

По числу пластичности  $I_p$  подразделяют согласно таблице 4.П2

Таблица 4.П2

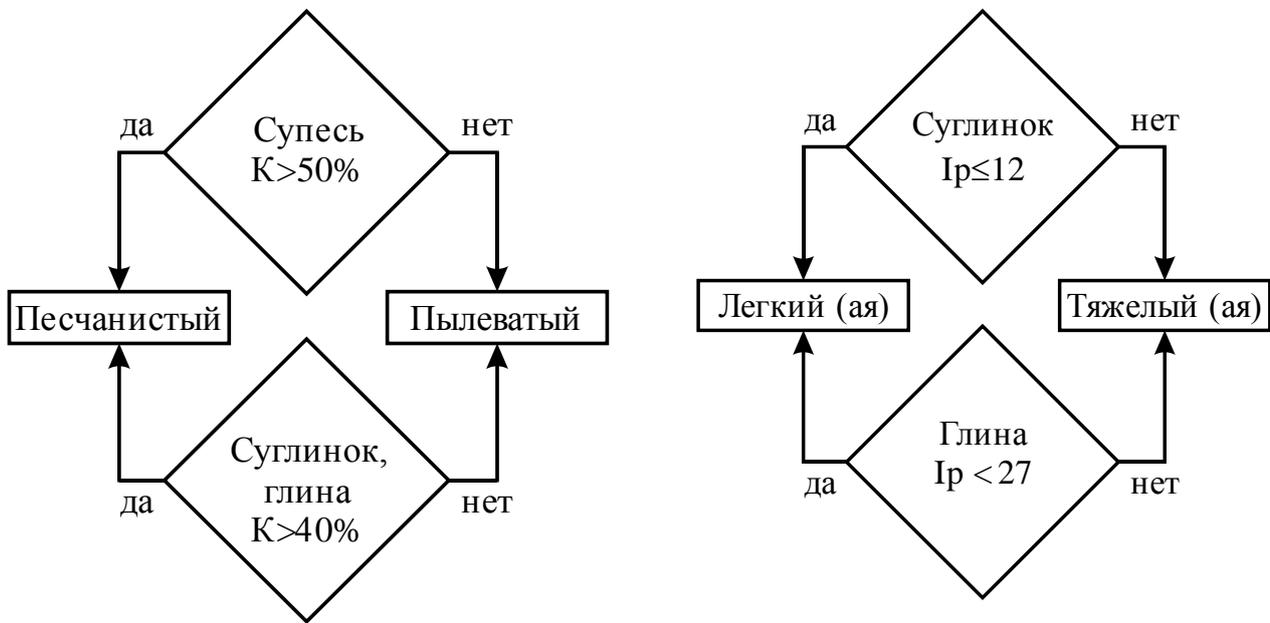
Разновидности глинистых грунтов	Число пластичности, %
Супесь	1 - 7
Суглинок	7 - 17
Глина	> 17

По показателям текучести  $I_L$  подразделяют согласно таблице 5.П2.

Таблица 5.П2

Разность глинистых грунтов	Показатель текучести
Супеси:	
- твердая	< 0,00
- пластичная	0,00 – 1,00
- текучая	>1,00
Суглинки и глины:	
- твердые	< 0,00
- полутвердые	0,00 – 0,25
- тугопластичные	0,25 – 0,50
- мягкопластичные	0,50 – 0,75
- текучепластичные	0,75 – 1,00
- текучие	>1,00

По гранулометрическому составу и числу пластичности  $I_p$  подразделяются согласно блок-схемам, приведенным ниже:



К – содержание песчаных частиц (2 – 0,05 мм), % по массе

По степени водопроницаемости подразделяются согласно таблице 6.П2.

Таблица 6.П2

Разновидность грунта	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут
Неводопроницаемый	<0.005
Слабоводопроницаемый	0.005-0.3
Водопроницаемый	0.3-3
Сильноводопроницаемый	3-30
Очень сильноводопроницаемый	>30

Для глинистых грунтов допускается относить грунты к водопроницаемым, если для супесей и суглинков  $I_L < 0,25$ , а для глин  $I_L < 0,5$ .

По относительной деформации пучения  $\varepsilon_{fn}$  грунты подразделяют по степени морозного пучения согласно таблице 7.П2.

Таблица 7.П2

Относительная деформация пучения $\varepsilon_{fn}$ , д.е.	< 0,01	0,01 – 0,035	0,035 – 0,07	> 0,07
Разновидность грунтов по степени морозного пучения	Практически непучинистый	Слабопучинистый	Среднепучинистый	Сильнопучинистый и чрезмернопучинистый

Оценка пучинистых свойств песчаного грунта производится по показателю дисперсности  $D$ , характеризующему гранулометрический состав и определяемому по формуле:

$$D = \kappa/d^2e,$$

где  $\kappa$  – коэффициент, равный  $1,85 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$ ;

$e$  – коэффициент пористости;

$d$  – средний диаметр частицы грунта, см, определяемый по формуле:

$$d = (p_1/d_1 + p_2/d_2 + \dots + p_g/d_g)^{-1},$$

где  $p_1, p_2, \dots, p_g$  – процентное содержание отдельных фракций грунта, доли единицы;  $d_1, d_2, \dots, d_g$  – средний диаметр отдельных частиц фракций, см.

Первая фракция включает частицы диаметром более 0,1 мм. Диаметры отдельных частиц фракций определяются по минимальным размерам, умноженным на коэффициент 1,4. За расчетный диаметр последней тонкой фракции принимается ее максимальный размер, деленный на коэффициент 1,4.

По показателю дисперсности песчаные грунты относятся к непучинистым, если  $D < 1$  и к пучинистым, если  $D \geq 1$ . Если этот показатель находится в пределах от 1 до 5 ( $1 < D < 5$ ), то эти грунты классифицируются как слабопучинистые.

Для оценки пучинистых свойств глинистого грунта используется параметр  $R_f$ , определяемый по формуле:

$$R_f = 0,012(W - 0,1) + [W \cdot (W - W_{cr})^2] / (W_L W_P \sqrt{M_0}),$$

где  $W, W_L, W_P$  – влажности в пределах слоя промерзающего грунта, соответствующие природной в предзимний период или прогнозируемой для этого периода, на границах раскатывания и текучести, доли единицы;

$W_{cr}$  – расчетная критическая влажность, ниже значения которой прекращается перераспределение влаги в промерзающем грунте, доли единицы, определяется по номограмме на рисунке 2.П2.

$M_0$  – параметр, равный абсолютному значению средней месячной температуры воздуха за холодный период при открытой поверхности грунта.

По показателю  $R_f$  глинистые грунты подразделяются по степени пучинистости на пять подгрупп. В зависимости от вида грунта взаимосвязь параметра  $R_f$  от относительной деформации морозного пучения и подразделение на подгруппы приведены на рисунке 1.П2.

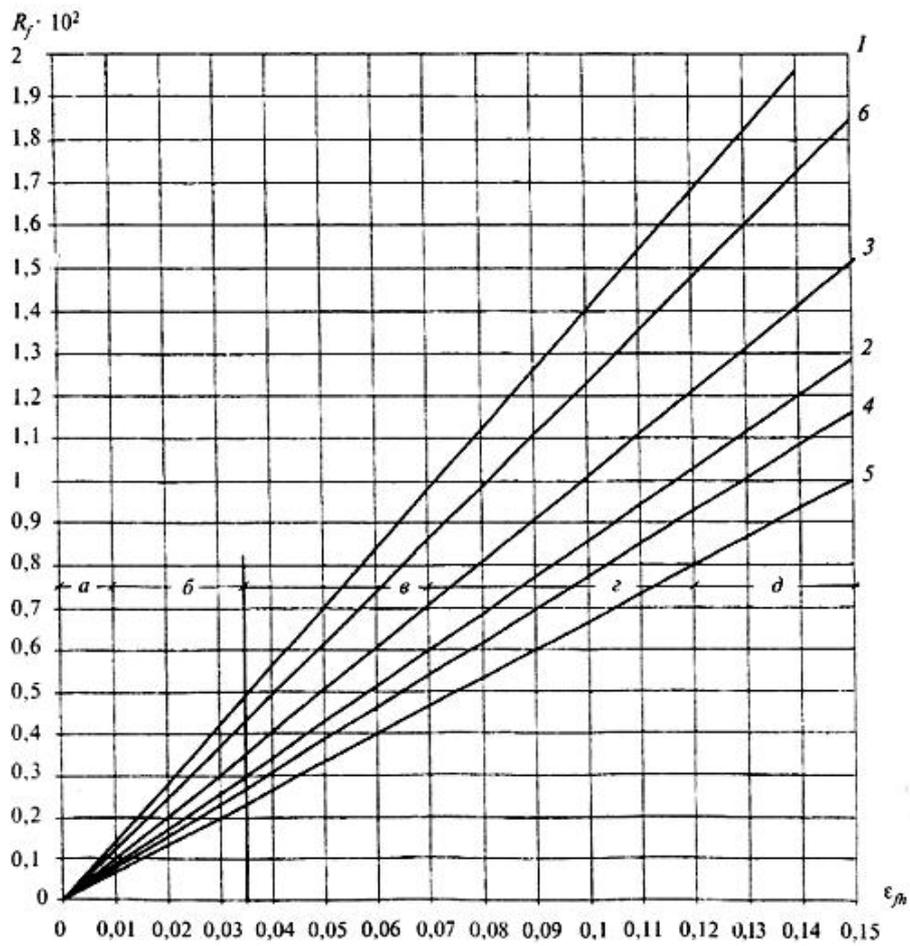


Рис. 1.П2 – Взаимосвязь параметра  $R_f$  и относительной деформации пучения  $\epsilon_{п}$

1, 2 – супеси; 3 – суглинки; 4 – суглинки с  $0,07 < I_p \leq 0,13$ ; 5 – суглинки с  $0,13 < I_p \leq 0,17$ ; 6 – глины (в грунтах 2, 4 и 5 содержание пылеватых частиц размером 0,05 – 0,005 мм составляет более 50% по массе); а – практически непучинистый; б – слабопучинистый; в – сред- непучинистый; г – сильнопучинистый; д – чрезмернопучинистый

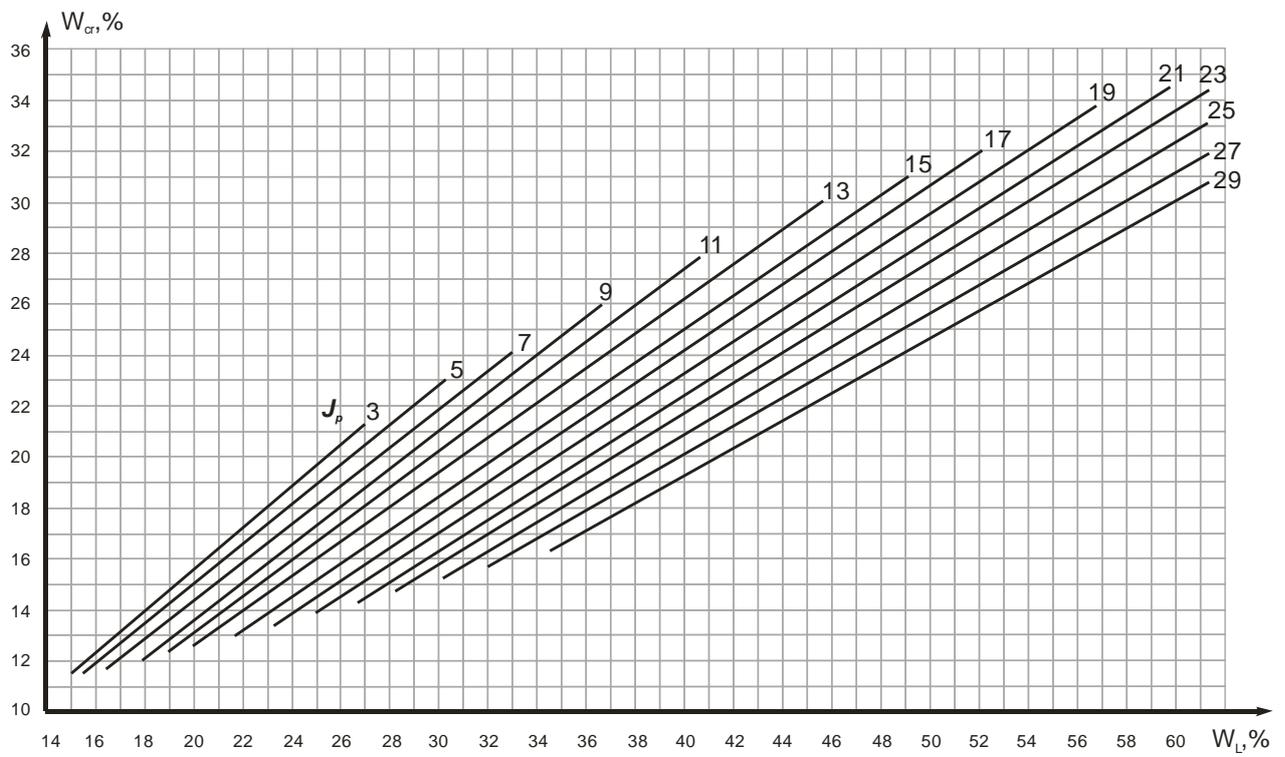


Рис. 2.П2 – Значение критической влажности  $W_{cr}$  в зависимости от числа пластичности  $J_p$  (%) и влажности на границе текучести ( $W_L$ )

Таблица 8.П2 – Характеристики грунта и его классификация по ГОСТ 25100-2011

№ ИГЭ	Основные физические характеристики грунта						Производные характеристики грунта												
	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{sp}$ , кг/м <sup>3</sup>	W, д.е.	W <sub>p</sub> , д.е.	W <sub>L</sub> , д.е.	$\rho_d$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma_s$ , Н/м <sup>3</sup>	$\gamma_{sb}$ , Н/м <sup>3</sup>	e, д.е.	n, д.е.	m, д.е.	W <sub>sat</sub> , д.е.	S <sub>r</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>L</sub>	Д	R <sub>f</sub>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
...																			

Продолжение таблицы 8.П2 – Характеристики грунта и его классификация по ГОСТ 25100-2011

Прочностные и деформационные характеристики		Наименование грунта по ГОСТ 25100-2011	
$\phi^H$ , град	C <sub>п</sub> , Па	$\phi_{п}$ , град	R <sub>0</sub> , Па
21	23	24	25
...			
			26
			27
			28

## Литература

1. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация [Текст]. – Взамен ГОСТ 25100-95; Введ. 2011-12-08. – Москва: Стандартинформ, 2013. –37 с.
2. Свод правил СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* [Текст]. – Введ. 2011-05-20. Минрегион России – Москва: ОАО «ЦПП», 2011. –160 с.
3. Свод правил СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\* [Текст]. – Введ. 2011-05-20. Минрегион России – Москва: ОАО «ЦПП», 2011.
4. Свод правил СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 [Текст]. – Введ. 2011-05-20. Минрегион России, 2011.

**ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ**  
Методические указания к выполнению курсовой работы  
«Проектирование фундамента под промежуточную опору мостовой конструкции»

---

Подписано в печать 29.02.2016. Формат 60 × 84/16.  
Усл. п. л. 2. Тираж экз. Заказ №

---

РИО ВоГУ. 160000, г. Вологда, ул. С. Орлова, 6.

