

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВПО ПГУПС)

Кафедра «Основания и фундаменты»

С.И. АЛЕКСЕЕВ, П. Л. КЛЕМЯЦИОНОК, С. С. КОЛМОГорова

Методические указания

к курсовой работе

«Расчёт мостовой опоры»

с использованием программного обеспечения для студентов специальности
СЖД, МТ.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2014

Оглавление

Оглавление	2
Введение	4
1. Задание на курсовую работу	4
2. Выбор варианта задания	4
3. Анализ инженерно-геологических условий площадки строительства и оценка строительных свойств грунтов (программа GRUNT).....	9
3.1. Пример работы по программе GRUNT.....	12
4. Проектирование фундаментов на естественном основании. Назначение размеров подошвы фундаментов.....	21
4.1. Выбор глубины заложения фундаментов	21
4.1.1. Инженерно-геологические условия.....	21
4.1.2. Гидрогеологические и климатические условия.....	21
4.2. Определение размеров подошвы фундамента	23
4.2.1. Минимальные размеры подошвы фундамента	23
4.2.2. Расчетное значение вертикальной нагрузки в уровне подошвы фундамента.	23
4.2.3. Выполнение проверки напряжений по подошве фундамента.	24
5. Расчеты фундамента на естественном основании по I группе предельных состояний	26
5.1. Проверка напряжений по подошве фундамента	26
5.2. Проверка устойчивости фундамента против опрокидывания.....	29
5.3. Проверка устойчивости фундамента против сдвига по подошве	29
6. Пример расчёта фундаментной опоры на естественном основании.	30
7. Расчеты фундамента на естественном основании по II группе предельных состояний. 34	34
7.1. Проверка осадки фундамента.	35
7.2. Проверка горизонтального смещения верха опоры	41
8. Определение размеров и осадки фундамента на естественном основании с учётом нагрузок по его обрезу с использованием программного обеспечения на сайте www.buildcalc.ru.	43
9. Проектирование свайных фундаментов	46
9.1. Назначение глубины заложения ростверка, выбор его типа, материала, определение предварительных размеров в плане.	46
9.2. Сбор нагрузок.	47
9.3. Выбор несущего слоя.	47
9.4. Определение длины сваи и выбор тип свай.....	47
9.5. Определение несущей способности свай.	49
9.6. Определение допустимой нагрузки на сваю.....	51
9.7. Определение числа свай	51
9.8. Размещение свай и уточнение размеров ростверка	52
10. Расчеты свайного фундамента по предельным состояниям	52
10.1. Расчёт свайного фундамента по несущей способности (по I группе предельных состояний)	52
10.2. Расчет свайного фундамента как условного массива.....	53
10.3. Расчёт по деформациям свайного фундамента (II группа предельных состояний) 55	55
11. Пример расчёта свайного фундамента мостовой опоры.	55
11.1. Выбор типа, длины и поперечного сечения сваи.	56
11.2. Определение несущей способности сваи и их количества	57
11.3. Конструирование ростверка.	58
11.4. Проверка свайного фундамента по I предельному состоянию.	58

11.5. Расчет свайного фундамента как условного массива.	58
11.6. Проверка свайного фундамента по II группе предельных состояний (по деформациям свайного фундамента).....	60
12. Оформление курсовой работы.	62
Литература:	63
Приложение 1.....	64
Пример графического оформления курсовой работы. (Лист формата А3)	64

Введение.

Цель курсовой работы по предмету «основания и фундаменты» - освоение основ проектирования фундаментов зданий и сооружений. Настоящие методические указания содержат исходные данные для примеров расчета оснований и фундаментов опор мостов, краткие указания по порядку проектирования. Приводятся отдельные примеры расчетов.

1. Задание на курсовую работу.

Выбор индивидуального задания производится в соответствии с цифрами шифра студента. Шифр каждому студенту выдаёт преподаватель.

Шифр (из шести чисел) включает:

- номер схемы моста (возможны три варианта)
- номер опоры (возможны два варианта, опоры № 2 и № 3)
- сочетание нагрузок (возможны 1 или 2 сочетания, выбираются из таблицы 1)
- номера слоев грунта с указанием мощности (сверху вниз для трёх слоёв выбираются из таблицы 2).

Схемы железнодорожных мостов приведены на рис. 1, 2, 3. На схемах указаны номера опор, длина пролетов, абсолютные отметки. Приведено сочетание нормативных нагрузок, действующее вдоль моста в уровне верха (обреза) фундамента: равнодействующая вертикальных нагрузок - $F_{\text{вп}}^0$; горизонтальная нагрузка - $F_{\text{гп}}^0$; момент - $M_{\text{п}}^0$ (рис. 1а). Сочетание нагрузок, размеры опор в плане $B_0 \times L_0$, высота H_0 и расчетная глубина размыва указаны в таблице 1. Нормативные характеристики слоев грунтов основания приведены в таблице 2.

2. Выбор варианта задания.

Номер варианта задания на курсовую работу по расчёту мостовой опоры по дисциплине «Основания и фундаменты» принимается по

последним двум цифрам номера зачётной книжки студента, например 04-СЖД-23 – вариант № 23.

№ варианта	Шифр	Город	№ варианта	Шифр	Город
01	1.2.1.1(4).12(5).19(10)	Уфа	51	3.2.2.14(4).25(6).19(10)	Смоленск
02	1.3.1.5(3).13(6).23(10)	Санкт-Петербург	52	3.3.1.7(4).18(5).2(10)	Томск
03	2.2.1.1(4).12(6).19(10)	Казань	53	3.3.2.5(3).13(4).23(10)	Хабаровск
04	2.3.1.5(4).13(6).23(10)	Псков	54	1.2.1.5(4).13(6).23(10)	Петрозаводск
05	3.2.1.1(4).12(6).19(10)	Москва	55	1.2.2.10(4).21(5).5(10)	Краснодар
06	3.3.1.6(3).14(6).24(10)	Великие Луки	56	1.3.1.7(3).18(6).2(10)	Пермь
07	1.2.2.8(3).17(6).1(10)	Самара	57	1.3.2.12(4).23(6).7(10)	Челябинск
08	1.3.1.6(4).14(2).24(10)	Екатеринбург	58	2.2.1.6(4).14(5).24(10)	Омск
09	2.2.1.2(3).9(6).20(10)	Смоленск	59	2.2.2.10(3).21(5).5(10)	Новосибирск
10	2.3.1.6(4).14(5).24(10)	Томск	60	2.3.1.7(3).18(5).2(10)	Красноярск
11	3.2.1.2(4).9(5).20(10)	Хабаровск	61	2.3.2.10(3).21(4).5(10)	Иркутск
12	3.2.2.8(3).17(5).1(10)	Петрозаводск	62	3.2.1.7(4).18(6).2(10)	Чита
13	3.3.1.7(3).15(5).25(10)	Краснодар	63	3.2.2.9(4).20(6).4(10)	Мурманск
14	3.3.2.2(4).9(5).20(10)	Пермь	64	3.3.1.6(4).19(4).3(10)	Уфа
15	3.3.2.13(4).24(4).8(10)	Челябинск	65	3.3.2.6(3).14(3).24(10)	Санкт-Петербург
16	1.2.2.7(4).18(3).2(10)	Омск	66	1.2.1.6(3).14(6).24(10)	Казань
17	1.3.1.7(3).15(5).25(10)	Новосибирск	67	1.2.2.11(4).22(6).6(10)	Псков
18	1.3.2.3(4).10(5).21(10)	Красноярск	68	1.3.1.6(4).19(6).3(10)	Москва
19	2.2.1.3(4).10(5).21(10)	Иркутск	69	1.3.2.13(4).24(5).8(10)	Великие Луки
20	2.2.2.7(4).18(5).2(10)	Чита	70	2.2.1.5(4).13(2).23(10)	Самара
21	2.3.1.7(4).15(4).25(10)	Мурманск	71	2.2.2.11(3).22(4).6(10)	Екатеринбург
22	2.3.2.3(4).10(4).21(10)	Уфа	72	2.3.1.6(3).19(4).3(10)	Смоленск
23	3.2.1.3(4).10(4).21(10)	Санкт-Петербург	73	2.3.2.11(4).22(4).6(10)	Томск
24	3.2.2.7(3).18(4).2(10)	Казань	74	3.2.1.6(3).14(6).24(10)	Хабаровск
25	3.3.1.8(3).16(4).26(10)	Псков	75	3.2.2.13(4).24(2).8(10)	Петрозаводск
26	3.3.2.3(3).10(6).21(10)	Москва	76	3.3.1.9(4).20(2).4(10)	Краснодар
27	1.2.1.3(4).10(6).21(10)	Великие Луки	77	3.3.2.11(4).22(6).6(10)	Пермь
28	1.2.2.6(3).19(5).3(10)	Самара	78	1.2.1.7(4).15(4).25(10)	Челябинск
29	1.3.1.8(4).16(6).26(10)	Екатеринбург	79	1.2.2.12(3).23(6).7(10)	Омск
30	1.3.2.4(3).11(3).22(10)	Смоленск	80	1.3.1.9(3).20(4).4(10)	Новосибирск
31	2.2.1.8(4).16(3).26(10)	Томск	81	1.3.2.14(4).25(6).19(10)	Красноярск
32	2.2.2.6(4).19(4).3(10)	Хабаровск	82	2.2.1.4(3).11(4).22(10)	Иркутск
33	2.3.1.8(4).16(3).26(10)	Петрозаводск	83	2.2.2.12(4).23(2).7(10)	Чита
34	2.3.2.4(4).11(4).22(10)	Краснодар	84	2.3.1.9(4).20(2).4(10)	Мурманск
35	3.2.1.4(4).11(3).22(10)	Пермь	85	2.3.2.12(4).23(2).7(10)	Уфа
36	3.2.2.6(3).19(3).3(10)	Челябинск	86	3.2.2.10(4).21(5).5(10)	Санкт-Петербург
37	3.3.1.8(4).17(6).1(10)	Омск	87	3.2.1.7(3).15(5).25(10)	Казань
38	3.3.2.4(3).11(5).22(10)	Новосибирск	88	3.3.2.12(4).23(5).7(10)	Псков
39	1.2.1.4(4).11(2).22(10)	Красноярск	89	1.2.2.13(4).24(6).8(10)	Москва
40	1.2.2.9(4).20(2).4(10)	Иркутск	90	2.2.1.7(4).18(6).2(10)	Великие Луки
41	1.3.1.8(4).17(3).1(10)	Чита	91	1.3.1.10(4).21(6).5(10)	Самара
42	1.3.2.11(4).22(2).6(10)	Мурманск	92	1.2.2.14(3).25(5).19(10)	Екатеринбург
43	2.2.2.1.7(3).15(6).25(10)	Уфа	93	2.2.2.12(4).23(2).7(10)	Смоленск
44	2.2.2.9(4).20(3).4(10)	Санкт-Петербург	94	2.3.1.9(4).20(2).4(10)	Томск
45	2.3.1.8(3).17(6).1(10)	Казань	95	2.3.2.12(4).23(2).7(10)	Хабаровск
46	2.3.2.5(3).13(5).23(10)	Псков	96	3.2.2.10(4).21(5).5(10)	Петрозаводск
47	3.2.1.5(4).13(2).23(10)	Москва	97	3.2.1.7(3).15(5).25(10)	Краснодар
48	1.2.2.13(4).24(6).8(10)	Великие Луки	98	1.2.2.14(3).25(5).19(10)	Пермь
49	2.2.1.7(4).18(6).2(10)	Самара	99	2.2.1.8(4).17(4).1(10)	Челябинск
50	1.3.1.10(4).21(6).5(10)	Екатеринбург	100	2.2.2.13(3).24(6).8(10)	Омск

Пример. Шифр студента **1,3,2,7(4),18(7),20(10)**. Номер схемы моста -1. Номер опоры – 3. Сочетание нагрузок – 2. Геологические условия - 7(4),18(7),20(10). По табл. 2: песок пылеватый – 7 (мощность 4 м), суглинок – 18 (мощность 7 м), глина – 20 (мощность 10 м).

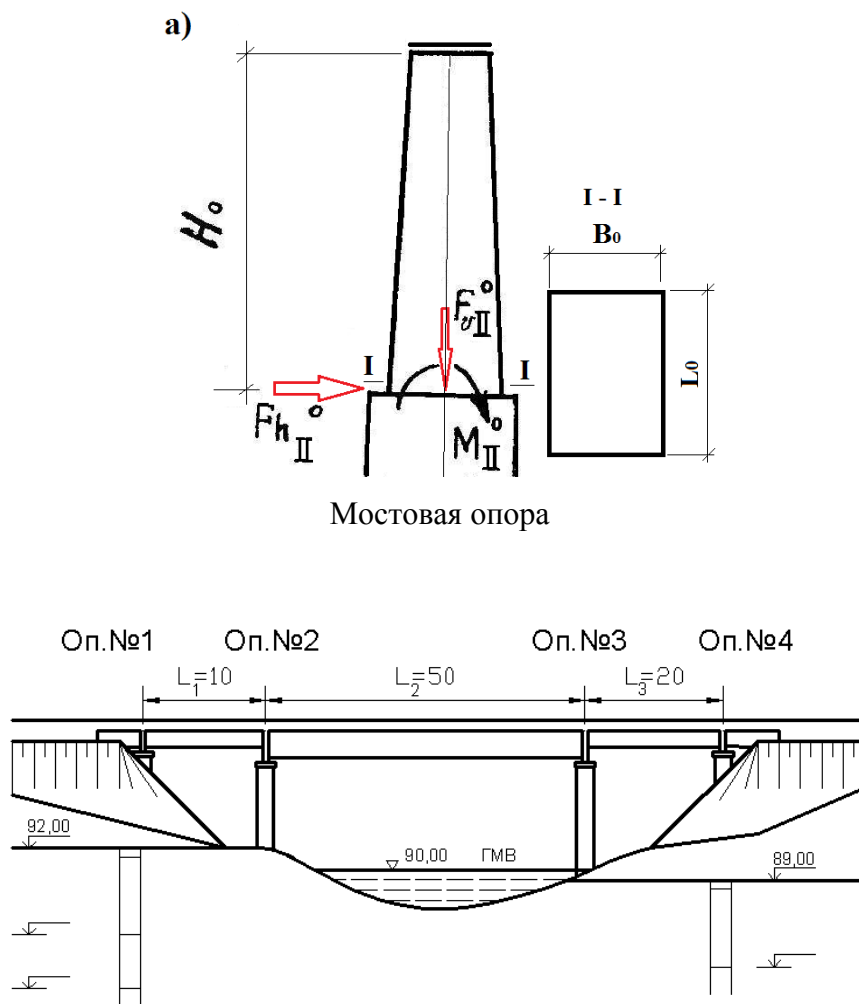


Рис.1. Схема железнодорожного моста.

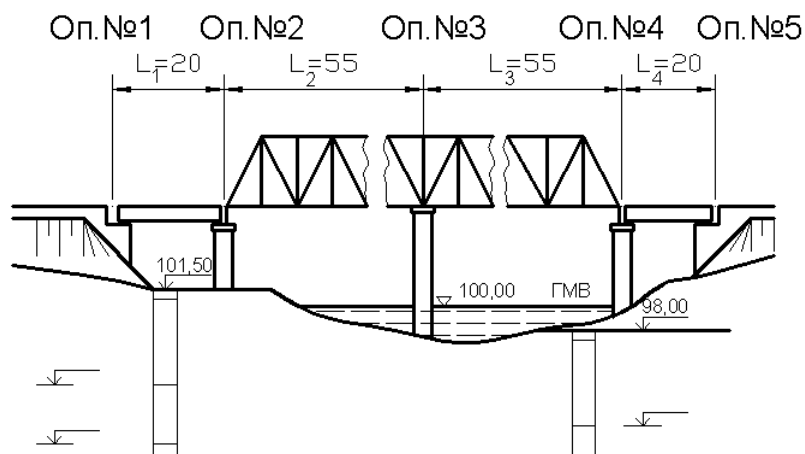


Рис. 2. Схема железнодорожного моста.

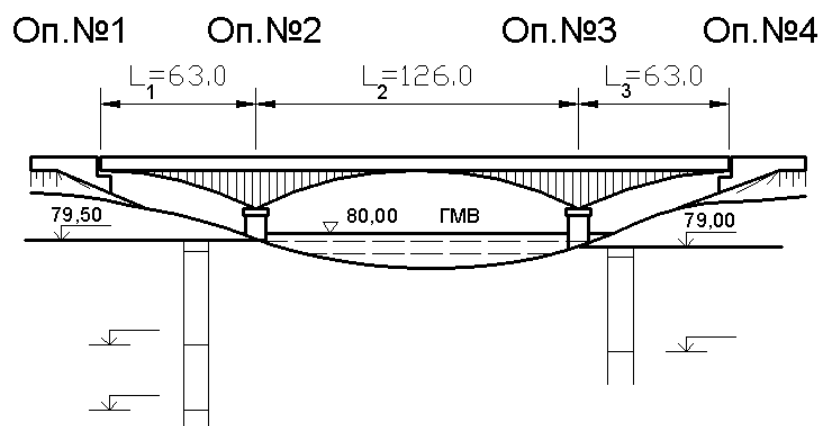


Рис. 3. Схема железнодорожного моста.



Рис. 3а. Примеры фотографий опор ж/д мостов.

Таблица 1.

Данные по опорам моста и нормативным нагрузкам.

Номер схемы	Номер, размеры опоры, глубина размыва	1-е сочетание			2-е сочетание		
		F_{vII}^0 , кН	M_{II}^0 , кНм	F_{hII}^0 , кН	F_{vII}^0 , кН	M_{II}^0 , кНм	F_{hII}^0 , кН
1.	Опора № 2 $H_0 = 16$ м $L_0 = 10.4$ м $B_0 = 3.6$ м	18500	5500	1200	16000	5800	1000
	Опора № 3 $H_0 = 20$ м $L_0 = 13$ м $B_0 = 4.5$ м Глубина размыва 0,7 м	23000	6200	1500	21000	6900	1300

2.	Опора № 2 H ₀ =12 м L ₀ =6,6 м B ₀ =3,2 м	20400	4500	800	19000	4100	700
	Опора № 3 H ₀ = 18 м L ₀ = 9,8 м B ₀ = 4,2 м Глубина размыва 0,5 м	25000	5200	1200	22000	4600	900
3.	Опора № 2 H ₀ = 15 м L ₀ = 11,2 м B ₀ = 5,0 м Глубина размыва 0,6 м	21500	5350	1040	22130	6020	980
	Опора № 3 H ₀ = 19,2 м L ₀ = 12,6 м B ₀ = 4,8 м Глубина размыва 0,4 м	23700	4820	1100	24100	4970	1330

Таблица 2.

Нормативные характеристики физико-механических свойств грунтов.

Наименование грунта	Номер слоя	Удельный вес частиц грунта	Удельный вес грунта	Влажность	Предел раскатывания	Предел текучести	Модуль деформации	Характеристики прочности	
								γ_s , кН/м ³	γ , кН/м ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Песок крупный с вкл. гравия	1	26,4	18,2	0,16	-	-	28	39	-
	2	26,5	19,7	0,23	-	-	30	38	-
Песок средней крупности	3	26,6	19,8	0,26	-	-	25	33	-
	4	26,4	19,9	0,21	-	-	34	34	-
Песок мелкий	5	26,4	19,4	0,25	-	-	23	27	-
	6	25,8	18,6	0,12	-	-	38	29	-
Песок пылеватый	7	26,4	19,6	0,26	-	-	14,5	19	1
	8	26,5	19,1	0,13	-	-	22	22	2
Супесь	9	26,4	18,3	0,28	0,26	0,31	7	17	2
	10	26,5	19,2	0,20	0,18	0,24	15	24	6
	11	26,6	20,5	0,17	0,15	0,21	26	26	9
Суглинок	12	26,5	19,0	0,32	0,27	0,41	11	15	15
	13	27,0	19,5	0,23	0,18	0,33	10	16	20
	14	26,8	19,8	0,21	0,19	0,27	19	17	16
	15	27,1	19,7	0,18	0,14	0,27	17	18	19
	16	26,9	19,8	0,18	0,16	0,25	20	21	27
	17	26,8	20,1	0,21	0,18	0,31	24	19	19

	18	27,0	20,0	0,19	0,18	0,27	24,5	20	18
Глина	19	27,5	19,6	0,25	0,20	0,38	11,5	11	34
	20	27,5	19,5	0,24	0,18	0,36	13	12	36
	21	27,0	19,3	0,28	0,22	0,43	15	13	27
	22	27,3	19,0	0,31	0,25	0,45	14	15	30
	23	27,4	19,8	0,24	0,19	0,39	19	17	40
	24	27,6	19,8	0,23	0,20	0,41	22	14	52
	25	27,2	20,5	0,23	0,16	0,34	21	18	45
	26	27,4	20,6	0,19	0,17	0,36	27	19	53

П р и м е ч а н и е. В расчетах по предельным состояниям используются расчетные значения характеристик, определяемые по формуле:

$$A = \frac{A_n}{\gamma_g},$$

где значения коэффициентов надежности по грунту γ_g принимаются:

в расчетах по несущей способности:

- ✓ для c - 1,4;
- ✓ для φ и γ - 1,1;

в расчетах по деформациям:

- ✓ для c - 1,1;
- ✓ для φ и γ - 1,05.

Для модуля деформации во всех случаях $\gamma_g = 1,0$.

3. Анализ инженерно-геологических условий площадки строительства и оценка строительных свойств грунтов (программа GRUNT).

Цель проведения анализа – установление закономерностей изменения сжимаемости и прочности грунтов по глубине, выбор несущего слоя.

Сжимаемость грунта оценивается по величине модуля общей деформации E_0 . В зависимости от нагрузок, действующих на фундамент при $E_0 < 10$ мПа грунт сильно сжимаемый, при $E_0 = 10...20$ мПа средне сжимаемый, при $E_0 > 20$ мПа грунт мало сжимаемый.

Общее представление о прочности и сжимаемости грунтов дает установление полного наименования грунтов, находящихся в геологическом разрезе, по номенклатуре ГОСТ 25100-82.

В курсовой работе оценку строительных свойств грунтов предлагается выполнить с использованием программы **GRUNT** (см. учебное пособие - <http://www.buildcalc.ru/Books/2008050301/Default.aspx>) [1].

Работа пользователя с программой GRUNT осуществляется в диалоговом режиме. Первый вопрос, появляющийся на экране монитора, предлагает ввести с клавиатуры учётные данные пользователя (Ф.И.О., номер учебной группы; название объекта) и даёт возможность получить информацию о программе (рис. 4.).

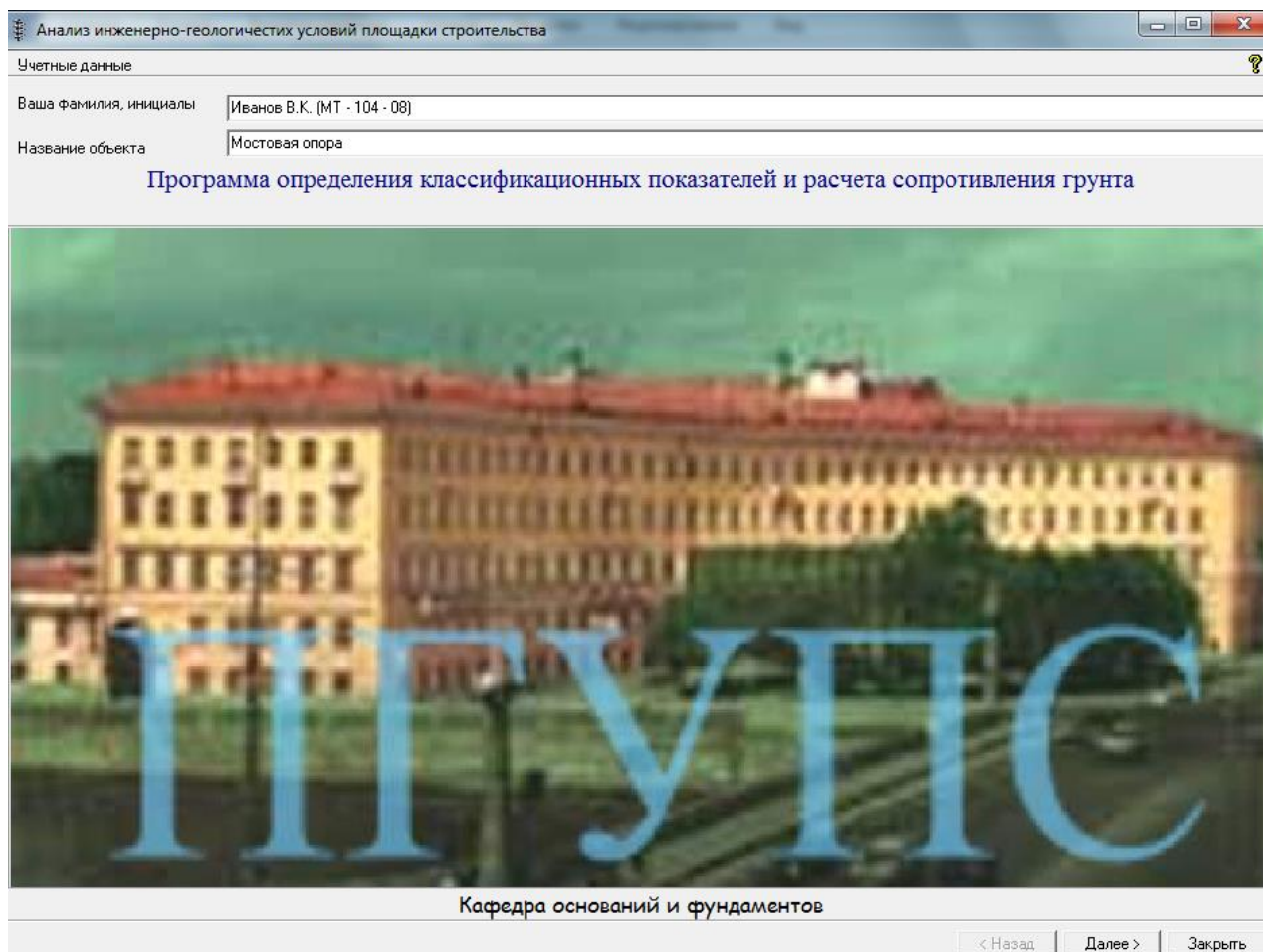


Рис. 4. Представление программы GRUNT на экране монитора.

Манипулируя курсором и отвечая на задаваемые вопросы, легко осуществить ввод в программу необходимых параметров – исходных данных.

Необходимо отметить, что на экране (рис. 4.) в правом верхнем углу имеется кнопка со знаком вопроса, нажатие на которую позволит получить на экране монитора информацию о программе следующего содержания.

"Программа GRUNT позволяет произвести оценку (анализ) инженерно-геологических условий строительства. Такой анализ обязательно

предшествует стадии проектирования фундаментов и позволяет наиболее обоснованно подойти к вопросам сравнения вариантов фундаментов.

Программа работает в диалоговом режиме и на основе ряда известных характеристик грунта (найденных изыскательской организацией):

- γ (кН/м³)- удельного веса грунта в естественном состоянии,
- γ_s (кН/м³)- удельного веса минеральных частиц грунта,
- φ (град.)- угла внутреннего трения грунта,
- C (кПа)- сцепления связных грунтов,
- E_0 (кПа)- модуля общей деформации грунта,
- W (доли единицы)- природной влажности грунта,

А ТАКЖЕ ДЛЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ:

- W_L (доли единицы)- влажности на границе текучести,
 - W_p (доли единицы)- влажности на границе раскатывания,
- которые можно охарактеризовать как исходные данные, программа определяет дополнительные характеристики состояния грунта:

- удельный вес сухого грунта

$$\gamma_d = \gamma / (1 + W) \text{ (кН / м}^3\text{)};$$

- коэффициент пористости

$$e = (\gamma_s - \gamma_d) / \gamma_d$$

Степень влажности грунта

$$G = W \times \gamma_s / (e \times \gamma_w)$$

ДЛЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ:

- показатель консистенции (текучести)

$$\mathfrak{I}_L = (W - W_p) / (W_L - W_p)$$

- число пластичности

$$\mathfrak{I}_p = W_L - W_p$$

По количественным величинам характеристик состояния грунта даётся качественный анализ данного грунта, который производится в соответствии с требованиями ГОСТ 25100-82 и рекомендаций "Пособия по

проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). М. Стройиздат, 1986".

При анализе строительных свойств грунтов одной из важнейших характеристик является величина условного расчётного сопротивления грунта - R_0 . В программе эта характеристика определяется в соответствии с рекомендациями СНиП 2.02.01-83 (приложение 3).

Величина R_0 (кПа) для каждого слоя грунта определяется интерполяцией по табличным значениям СНиП в зависимости от плотности сложения, показателя консистенции (текучести \mathcal{I}_L для глинистых грунтов).

Выходные параметры программы представлены в виде таблицы основных характеристик всех слоёв грунта. Используя эти количественные значения, пользователь может дать качественную оценку строительных свойств грунтов всего геологического разреза.

Второй блок выходной информации в наглядной графической форме представляет эпюру изменения условного расчётного сопротивления (R_0) различных слоёв грунтов основания по глубине. Анализируя эти данные, не трудно выявить относительно слабые слои грунта и хорошие (надёжные), что позволяет более обоснованно подойти к вопросу вариантного проектирования фундаментов.

Последовательный ввод с экрана монитора запрашиваемых величин - характеристик грунтов (см. выше) позволяет достаточно просто работать с данной программой.

3.1. Пример работы по программе GRUNT.

Для примера работы программы GRUNT рассмотрим геологические условия в соответствии с шифром задания: **1.3.2. 10(4).21(5).5(10)**. Данные геологические условия с выписанными характеристиками грунтов (таблица 2), представлены на рис. 5.

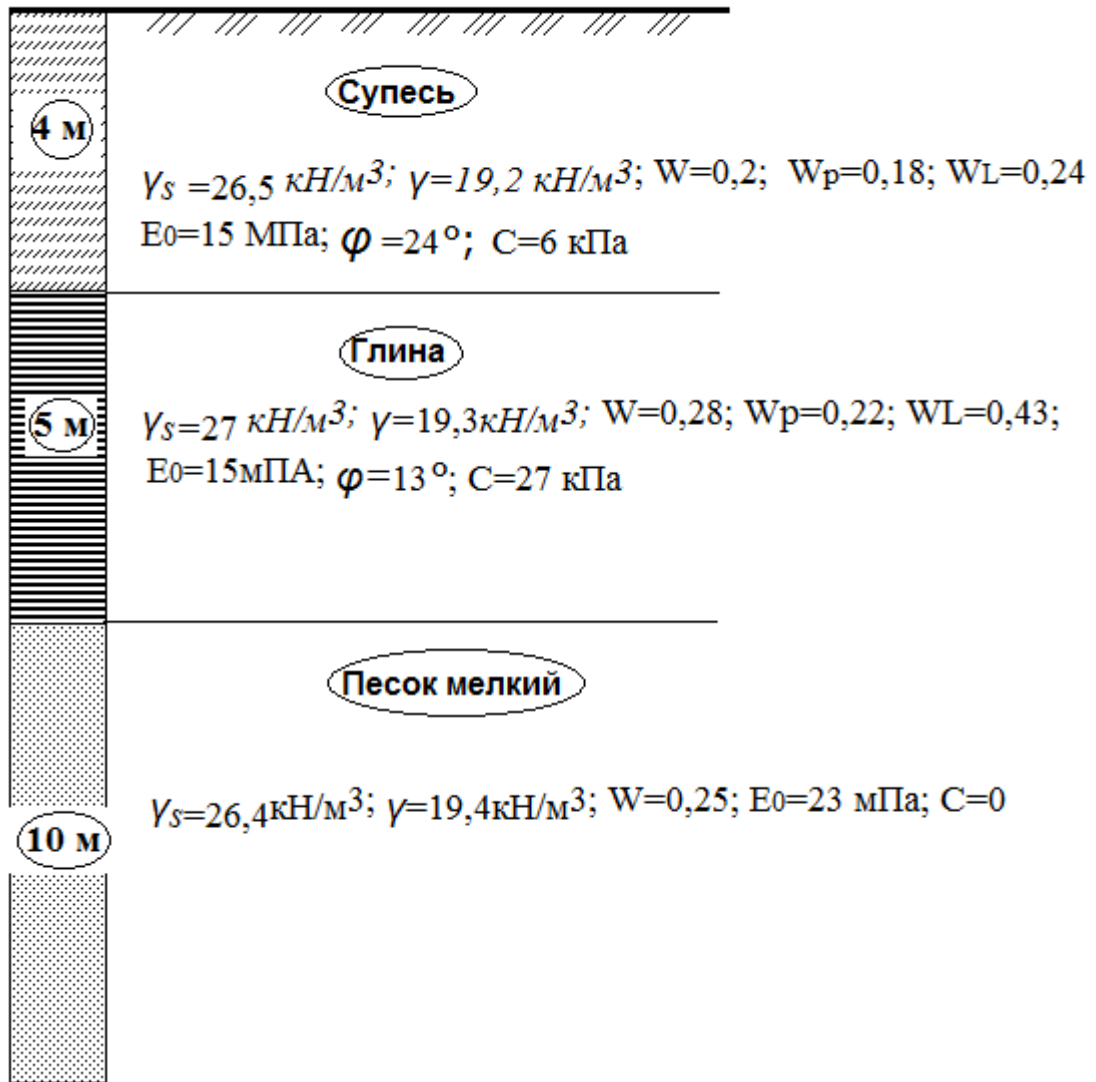


Рис. 5. Пример исходных данных геологических условий в соответствии выданным заданием.

После ввода исходных данных пользователя (рис. 4), отвечая на вопросы программы, путём ввода для первого слоя грунта (супеси, рис. 5.) его исходных грунтовых характеристик, получим на экране монитора окно, следующего вида (рис. 6.).

Определение характеристик слоя № 1

Определение наименования глинистого грунта (продолжение 1)

По таблице ГОСТ 25100-82 определите тип глинистого грунта по числу пластичности $\mathfrak{I}_p=6\%$ и разновидность грунта по консистенции, показатель текучести $\mathfrak{I}_L=0,33$

Тип грунта	$\mathfrak{I}_p, \%$	Разновидность грунта	\mathfrak{I}_L
Супеси			
Супесь	$1 \leq \mathfrak{I}_p \leq 7$	Твердые	$\mathfrak{I}_L < 0$
		Пластичные	$0 \leq \mathfrak{I}_L \leq 1$
		Текучие	$\mathfrak{I}_L > 1$
Суглинки и Глины			
Суглинок	$7 \leq \mathfrak{I}_p \leq 17$	Твердые	$\mathfrak{I}_L < 0$
		Полутвердые	$0 \leq \mathfrak{I}_L \leq 0,25$
Глина	$\mathfrak{I}_p > 17$	Тугопластичные	$0,25 \leq \mathfrak{I}_L \leq 0,5$
		Мягкопластичные	$0,5 \leq \mathfrak{I}_L \leq 0,75$
		Текучепластичные	$0,75 \leq \mathfrak{I}_L \leq 1$
		Текучие	$\mathfrak{I}_L > 1$

Тип грунта:

Разновидность грунта:

Рис. 6. Таблица классификации глинистых грунтов по числу пластичности и консистенции.

Из показаний экрана (рис.6) видно, что при $\mathfrak{I}_p=6\%$ и $\mathfrak{I}_L=0,33$ будем иметь <супесь> <пластичную>.

Нажимая клавишу < Далее >, в результате получим следующее окно (рис. 7).

Определение характеристик слоя № 1

Определение значения расчетного сопротивления глинистого грунта

По таблице 3 приложения СНиП 2.02.01-83 определите граничные значения условного расчетного сопротивления по коэффициенту пористости $e=0,66$ (Супесь) и показателю текучести $\zeta_L=0,33$

Тип грунта	Коэффициент пористости e	Значение R_0 (кПа) при показателе текучести грунта	
		$\zeta_L=0$	$\zeta_L=1$
Супеси	0,5	300	300
	0,7	250	200
Суглинки	0,5	300	250
	0,7	250	180
	1,0	200	100
Глины	0,5	600	400
	0,6	500	300
	0,8	300	200
	1,1	250	100

Значение коэффициента пористости меньше Вашего значения e

и соответствующие ему значения R_0 (слева направо)

Значение коэффициента пористости больше Вашего значения e

и соответствующие ему значения R_0 (слева направо)

Значение $R_0=247,92$ кПа

Рис. 7. Таблица определения расчётного сопротивления грунта (R_0) для глинистых грунтов.

Из представленной таблицы (рис.7) значения R_0 определяются с использованием методики интерполяции. Для этого, отвечая на задаваемые вопросы, необходимо ввести значения коэффициента пористости меньше, чем полученное значение 0,66, т.е. 0,5 и соответствующее ему значения R_0 (слева направо), т.е. <300> и ещё раз <300>. Затем вводятся значения коэффициента пористости больше, чем полученное значение 0,66, т.е. 0,7 и соответствующее ему значения R_0 (слева направо), т.е. <250> и <200>. Программа интерполирует введённые значения R_0 и выдаёт результирующую величину **$R_0=247,92$ кПа**. Нажимая на кнопку <Закончить>, программа закончит рассматривать первый слой грунта по примеру рис.5.

Для перехода ко второму (последующему) слою грунта необходимо в левом верхнем углу меню выбрать «иконку» со знаком плюс и вводить данные по второму слою - глине. Выполнив для данного слоя грунта

процедуры, аналогичные выше рассмотренным, перейдем к третьему слою грунта - мелкому песку (см. рис. 5).

Для песчаных грунтов, в отличие от глинистых после ввода ряда характеристик, получим информационное окно следующего содержания (рис. 8).

Определение характеристик слоя № 3

Определение наименования песчаного грунта по плотности сложения

W [доли единиц] природная влажность грунта

γ [кН/м³] удельный вес грунта в естественном состоянии

γ_s [кН/м³] удельный вес минеральных частиц грунта

Коэффициент пористости $e=0,7$
По таблице ГОСТ 25100-83 определите вид песчаного грунта по плотности сложения (Песок мелкий)

Наименование	Плотные	Средней плотности	Рыхлые
Песок гравелистый, крупный, средней крупности	$e < 0,55$	$0,55 \leq e \leq 0,7$	$e > 0,7$
Песок мелкий	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,75$	$e > 0,75$
Песок пылеватый	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,8$	$e > 0,8$

▾

Рис. 8. Таблица классификации песков по плотности.

Из показаний экрана (рис. 8) видно, что при $e = 0,7$ мелкий песок будет находиться в состоянии средней плотности. Ответив на вопросы экрана, и нажав, с помощью «мышки» клавишу <Далее>, получим окно (рис. 9).

Определение характеристик слоя № 3

Определение наименования песчаного грунта по степени влажности

По табл. ГОСТ 25100-82 определите разновидность песчаного грунта по степени влажности
 $S=0,94$

Наименование грунтов	Степень влажности
Маловлажные	$0 < S \leq 0,5$
Влажные	$0,5 < S \leq 0,8$
Насыщенные водой	$0,8 < S \leq 1,0$

Насыщенный водой

< Назад Далее >

Рис. 9. Таблица классификации песков по степени влажности.

Выбирая из таблицы на рис. 6 состояние грунта, отвечающее степени влажности $S=0,94$ <насыщенные водой> и <Далее>, получим следующее окно (рис. 10).

Определение характеристик слоя № 3

Определение значения расчетного сопротивления песчаного грунта

По таблице 2 приложения 3 СНиП 2.02.01-83 определите значение расчетного сопротивления грунта (Песок мелкий, средней плотности, насыщенный водой)

Плотность сложения песков	Значения R_0 , кПа	
	Плотные	Средней плотности
Крупные	600	500
Средней крупности	500	400
Мелкие		
Маловлажные	400	300
Влажные и насыщенные водой	300	200
Пылеватые		
Маловлажные	300	250
Влажные	200	150
Насыщенные водой	150	100

R_0 [кПа] расчетное сопротивление грунта

Рис. 10. Таблица определения условного расчётного сопротивления грунта (R_0) для песков.

Из представленной таблицы (рис. 10) нетрудно по уже известному состоянию песка, определить значение R_0 . Выбрав из таблицы $R_0 = 200$ кПа, и нажимаем на клавишу <Закончить>.

При завершении ввода исходных характеристик всех расчётных слоёв геологического разреза, на экране дисплея появится сводная таблица расчётных физико-механических характеристик грунтов (рис. 11).

Анализ инженерно-геологических условий площадки строительства			
Анализ инженерно-геологических условий площадки строительства			
№ Слоя	1	2	3
Наименование грунта	Супесь пластичная	Глина тугопластичная	Песок мелкий
Мощность слоя, м	4	5	10
Удельный вес грунта γ , кН/м ³	19,2	19,3	19,4
Коэффициент пористости e	0,66	0,79	0,7
Степень влажности S	0,81	0,96	0,94
Показатель текучести ζ_L	0,33	0,29	
Угол внутреннего трения ϕ , град.	24	13	27
Сцепление C , кПа	6	27	0
E_0 , кПа	15000	15000	23000
R_0 , кПа	248	279	200

Рис. 11. Таблица расчётных физико-механических характеристик грунтов по заданному инженерно-геологическому разрезу (рис. 5).

Наиболее важной расчётной характеристикой, позволяющей качественно оценить прочностные свойства слоёв грунта, является величина расчётного сопротивления (R_0). Изменение данной характеристики грунтов по глубине рассматриваемого разреза, по желанию пользователя может быть представлено на экране компьютера в виде эпюры $R_0=R_0(H)$ (рис. 12).

Эпюра на рис. 12 достаточно наглядно даёт представление о характере изменения расчётного сопротивления по глубине основания, позволяя выявить относительно "слабые" и "прочные" слои грунта. Такая интерпретация результатов расчёта даёт возможность обоснованно подойти к выбору несущего слоя грунта основания при вариантном проектировании фундаментов сооружений.

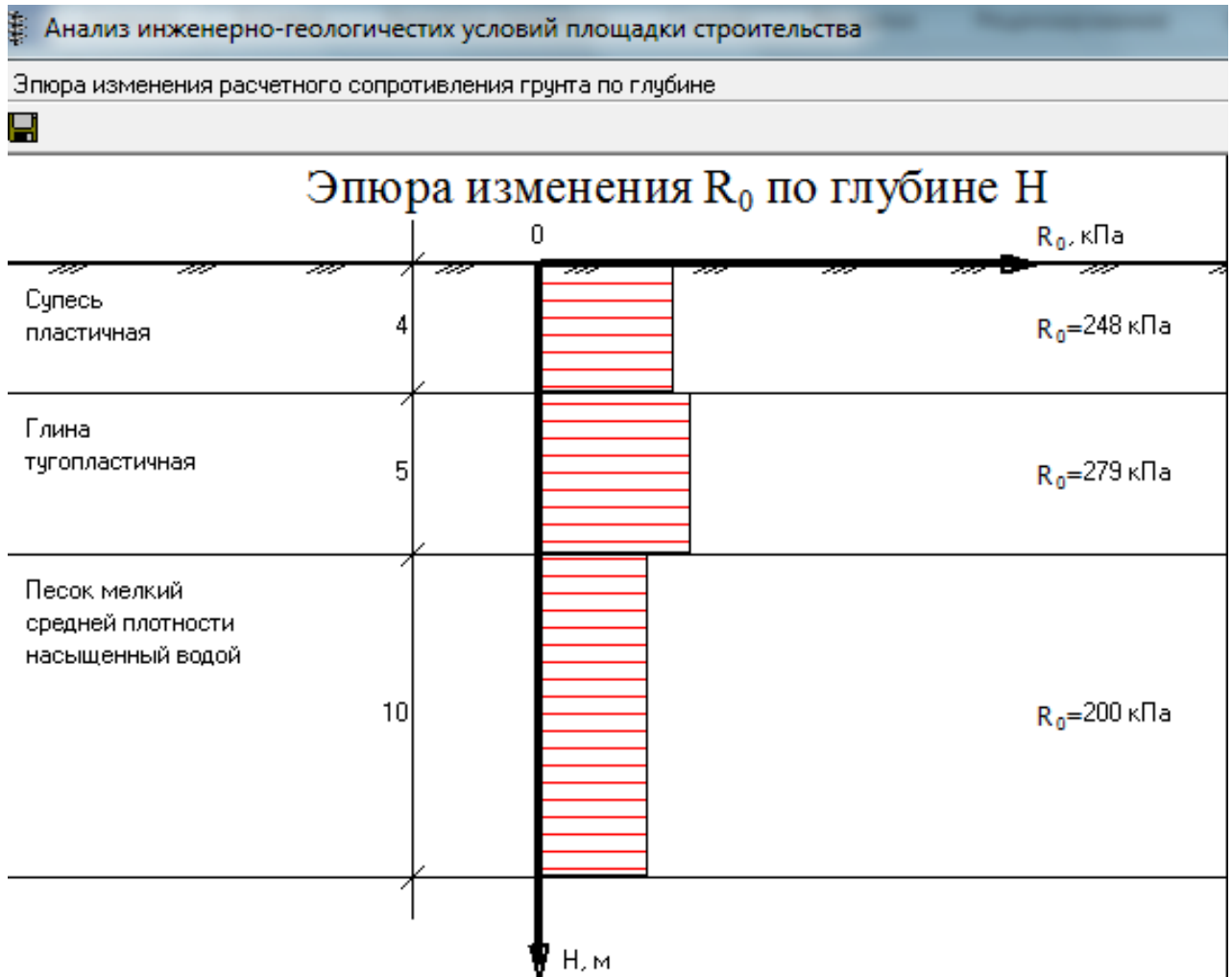


Рис. 12. Эпюра изменения условного расчётного сопротивления (R_0) отдельных слоёв грунта по глубине (H) рассматриваемого геологического разреза.

Следует отметить, что рис. 11 и 12 рекомендуется сохранить (в выбранной Вами директории), вывести на принтер и приложить в качестве графического материала к расчёту.

Вывод: Анализ полученных результатов показывает, что наибольшей несущей способностью обладает второй слой – тугопластичная глина. Первый слой грунта – супесь в пластичном состоянии также является надёжным основанием и может служить несущим слоем для фундамента на естественном основании.

4. Проектирование фундаментов на естественном основании. Назначение размеров подошвы фундаментов.

При строительстве мостовых опор на местности покрытой небольшим слоем воды, либо на суходолах при близком залегании к поверхности прочных и слабосжимаемых грунтов целесообразно применять фундаменты мелкого заложения (глубиной заложения до 5 м) на естественном основании.

Основание называется естественным, если слагающие его грунты предварительно не подвергаются специальным техническим мероприятиям с целью повышения их прочности.

Проектирование фундаментов начинают с предварительного выбора их конструкции и основных размеров, к которым в первую очередь относится глубина заложения фундамента.

4.1. Выбор глубины заложения фундаментов.

Основная задача при выборе глубины заложения подошвы фундаментов состоит в решении вопроса о несущем слое грунта. При этом необходимо учитывать следующие факторы:

1. Инженерно-геологические условия площадки строительства
2. Гидрогеологические и климатические условия

4.1.1. Инженерно-геологические условия.

По эпюре условного расчетного сопротивления (R_0) и по физико-механическим характеристикам грунтов необходимо выбрать несущий слой грунта (прочный и мало сжимаемый). Фундаменты не рекомендуется опирать на мало прочные и сильно сжимаемые грунты (рыхлые пески, супеси в текучем состоянии, суглинки и глины с показателем консистенции $I_L > 0,6$). После выбора несущего слоя грунта фундамент заглубляется в него не менее чем на 0,5 м, поскольку поверхность слоя грунта может быть наклонной.

4.1.2. Гидрогеологические и климатические условия.

Для опоры на суходоле:

Если в основании находятся непучинистые при промерзании грунты (пески гравелистые, крупные и средней крупности), то минимальная глубина заложения принимается $d_{\min} = 1$ м.

При пучинистых грунтах подошву фундаментов следует располагать ниже расчетной глубины промерзания не менее, чем на 0,25 м.

Глубина заложения фундамента определяется по формуле:

$$d = d_{fn} + 0,25, \quad (1)$$

где d_{fn} – расчетная глубина промерзания, м:

$$d_{fn} = d_0 \cdot \sqrt{Mt}, \quad (2)$$

где Mt – коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зиму в данном регионе, принимаемый по СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика» и для Санкт-Петербурга $Mt = 25,4^\circ\text{C}$;

d_0 – глубина промерзания при $Mt = 1$, принимаемая:

- для суглинков и глин - 0,23 м;
- для супесей, песков мелких и пылеватых - 0,28 м;
- для крупных песков – 0,30 м.

Для промежуточной опоры:

Учитывая возможность размыва грунта у опоры, глубина заложения подошвы фундамента назначается не менее 2,5 м ниже линии теоретического размыва (ЛТР).

Из всех рассмотренных факторов принимают наибольшую глубину заложения фундамента. Окончательно она назначается при определении площади подошвы фундамента и при выполнении проверок напряжений под подошвой фундамента.

Обрез фундамента для береговой опоры (на суходоле) располагают на глубине – на 0,25 м ниже поверхности грунта (рис. 13а), а для промежуточной опоры (на акватории) располагают на 0,5 м ниже горизонта меженных вод (ГМВ) (рис. 13б).

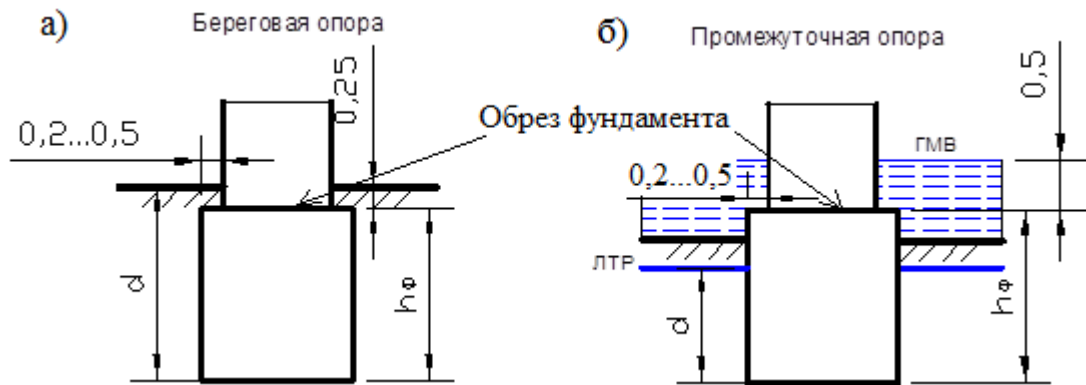


Рис. 13. Схема заделки фундамента для мостовой опоры.

Глубина заложения фундамента (d) – это расстояние от поверхности грунта (для береговой опоры) или от ЛТР (для промежуточной опоры) до подошвы фундамента. Высота фундамента ($h_{\text{ф}}$) – это расстояние от обреза до подошвы фундамента.

4.2. Определение размеров подошвы фундамента.

Определение размеров подошвы фундамента определяются исходя из его конструктивных особенностей:

4.2.1. Минимальные размеры подошвы фундамента.

$$A_{\min} = b_{\min} \cdot \ell_{\min} = (B_0 + 2c) \cdot (L_0 + 2c), \quad (3)$$

где b_{\min} – минимальная ширина подошвы фундамента;

ℓ_{\min} – минимальная длина подошвы фундамента;

c – уступ принимается обычно 0,5 м;

B_0, L_0 – размеры опор в плоскости обреза фундамента, указанные в задании, м.

4.2.2. Расчетное значение вертикальной нагрузки в уровне подошвы фундамента.

$$F_{\text{VI}} = F_{\text{VI}}^0 + G_{\text{фI}}, \quad (4)$$

где F_{VI}^0 – расчетная вертикальная нагрузка на уровне обреза фундамента:

$$F_{\text{VI}}^0 = 1,2 F_{\text{VII}}^0, \quad (5)$$

где F_{VII}^0 – нормативная вертикальная нагрузка берется из задания и включает в себя постоянные и временные нагрузки кН;

$G_{\text{фI}}$ – расчетный вес фундамента, кН:

$$G_{\phi I} = 1,1 V_{\phi} \gamma_{\phi}, \quad (6)$$

где γ_{ϕ} - удельный вес бетона, равный 24 кН/м³;

V_{ϕ} – объем фундамента мостовой опоры, м³.

4.2.3. Выполнение проверки напряжений по подошве фундамента.

$$P_{cp} = \frac{F_{vI}}{A_{\min}} \leq \frac{\gamma_c \cdot R}{\gamma_n}, \quad (7)$$

где: $\gamma_c = 1,2$ – коэффициент условий работы, зависящий от сочетания нагрузок и принимаемый по СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы»;

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

R – расчетное сопротивление грунта несущего слоя; определяется по эмпирической формуле для предварительно назначенных размеров фундамента (b_{\min} , l_{\min}), кПа:

$$R = 1,7[R_0(1 + \kappa_1(b - 2)) + \kappa_2\gamma'(d - 3)], \quad (8)$$

где:

R_0 – условное расчетное сопротивление грунта, кПа (см. § № 1(рис. 12));

κ_1, κ_2 – коэффициенты, принимаемые по таблице 3;

b – ширина подошвы фундамента, м (при $b > 6$ м принимается $b = 6$ м)

d – глубина заложения фундамента, принимаемая для опоры на суходоле от поверхности грунта, для промежуточной опоры от ЛТР до подошвы фундамента, м (при $d < 3$ принимается $d = 3$)

γ' – среднее значение удельного веса грунта, залегающего выше подошвы фундамента, определяемое без учета взвешивающего действия воды, кН/м³:

$$\gamma' = \frac{\sum h_i \cdot \gamma_i}{\sum h_i}. \quad (9)$$

Для промежуточной опоры, если основание сложено глинами или суглинками, следует расчетное сопротивление (R) повышать на величину равную $14,7d_w$ (кПа), где d_w – глубина воды от ГМВ до ЛТР.

Таблица 3

Значения коэффициентов k_1 , k_2 по СНиП 2.05.03-84

Грунт	$k_1, м^{-1}$	k_2
Песок гравелистый, крупный и средней крупности	0,10	3,0
Песок мелкий	0,08	2,5
Песок пылеватый, супесь	0,06	2,0
Суглинок и глина полутвердые и твердые	0,04	2,0
Суглинок и глина туго- и мягкопластичные	0,02	1,5

Если условие (7) не выполняется, увеличивают размеры подошвы фундамента по 0,5 м в каждую сторону, вплоть до максимальных размеров площади подошвы фундамента, и проводится повторный расчет.

Максимальные размеры площади подошвы фундамента определяют, соблюдая условия жесткости (угол уширения не должен превышать 30° ($\text{tg}30^\circ = 0,577$)):

$$A_{\max} = b_{\max} \cdot \ell_{\max} = (B_0 + 2h_{\phi} \cdot \text{tg}30^\circ) \cdot (L_0 + 2h_{\phi} \cdot \text{tg}30^\circ), \quad (10)$$

где h_{ϕ} – высота фундамента (расстояния от обреза фундамента до его подошвы). Условие (7) должно выполняться не более чем на 10-20%.

Если условие (7) не выполняется с максимальными значениями размеров площади подошвы фундамента, увеличивают глубину заложения фундамента, находят соответствующие максимальные размеры фундамента и делают проверку.

После определения размеров площади подошвы фундамента необходимо назначить уступы, соблюдая условие жесткости (угол уширения не должен превышать 30°). Отношение ширины уступа к его высоте не должно превышать $\text{tg}30=0,577$. Высота уступа h_y принимается 0,75-2 м, а ширина – обычно не более $0,5h_y$.

5. Расчеты фундамента на естественном основании по I группе предельных состояний.

Для оснований сооружений, как и для конструкций вообще, установлены две группы предельных состояний: первая группа - по несущей способности и устойчивости; вторая группа – по деформациям. Для оснований транспортных сооружений, в частности опор мостов, воспринимающих значительные горизонтальные нагрузки, главное значение приобретают расчеты по несущей способности и устойчивости.

Определяем напряжения по подошве фундамента (рис. 14), предварительно определив в этом уровне действующие усилия.

5.1. Проверка напряжений по подошве фундамента.

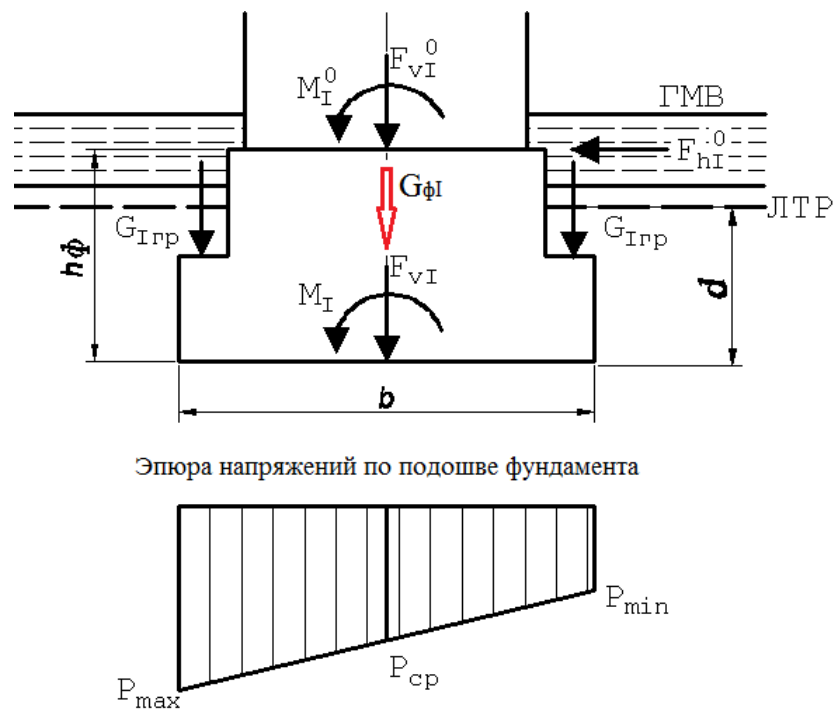


Рис. 14. Построение эпюр напряжений по подошве фундамента.

Величины напряжений по подошве фундамента от расчетных нагрузок должны удовлетворять следующим условиям:

$$P_{ср} = \frac{F_{vI}}{A} \leq \frac{R}{\gamma_n}; \quad (11)$$

$$P_{\max} = \frac{F_{vI}}{A} + \frac{M_I}{W} \leq \frac{\gamma_c \cdot R}{\gamma_n}; \quad (12)$$

$$P_{\min} = \frac{F_{vI}}{A} - \frac{M_I}{W} \geq 0, \quad (13)$$

где: P_{cp} ; P_{max} и P_{min} – соответственно среднее, максимальное и минимальное напряжения по подошве фундамента от расчетных нагрузок, кПа;

R – расчетное сопротивление основания для окончательно назначенных размеров фундамента, кПа;

$\gamma_c = 1,2$ – коэффициент условий работы, зависящий от сочетания нагрузок и принимаемый по СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы»;

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

F_{vI} – расчетная вертикальная нагрузка на уровне подошвы фундамента, кН:

$$F_{vI} = F_{vI}^0 + G_{\phi I} + G_{zI} + G_W \quad (14)$$

$G_{\phi I}$ – расчетный вес фундамента, кН:

$$G_{\phi I} = 1,1 V_{\phi} \gamma_{\phi} \quad (15)$$

V_{ϕ} – объем фундамента мостовой опоры, м³;

γ_{ϕ} – удельный вес бетона, равный 24 кН/м³.

G_{zI} – расчетный вес грунта на уступах фундамента, кН:

$$G_{Iгр} = 1,2 V_{гр} \gamma_{гр} \quad (16)$$

где $\gamma_{гр}$ – удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды (во всех грунтах кроме водонепроницаемых: тугопластичных, твердых, полутвердых глин и суглинков), кН/м³:

$$\gamma_{gp}^{es} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}, \quad (17)$$

где γ_s – удельный вес частиц грунта, указанный в задании, кН/м³;

$\gamma_w = 10$ кН/м³ – удельный вес воды;

e – коэффициент пористости грунта;

$V_{гр}$ - объем грунта на уступах фундамента от ЛТР (для промежуточной опоры) или от дневной поверхности (на суходоле), m^3 .

Если фундамент врезается в водонепроницаемый грунт (тугопластичные, твердые, полутвердые глины и суглинки) необходимо учитывать вес воды на уступах фундамента (G_w), кН:

$$G_w = V_w \gamma_w, \text{ где} \quad (18)$$

$\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$ - удельный вес воды;

V_w - объем воды на уступах фундамента от ГМВ (для промежуточной опоры) или от УГВ (на суходоле) до водоупора m^3 ;

M_I – расчетный момент относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента, кНм:

$$M_I = M_I^0 + F_{hl}^0 \cdot h_\phi, \text{ где} \quad (19)$$

$$M_I^0 = 1,2 M_{II}^0; \quad (20)$$

F_{hl}^0 - расчетная горизонтальная нагрузка на уровне обреза фундамента, кН:

$$F_{hl}^0 = 1,2 F_{hII}^0, \text{ где} \quad (21)$$

h_ϕ – высота фундамента, м;

W – момент сопротивления подошвы фундамента для окончательно назначенных размеров (b, l), m^3 :

$$W = \frac{l \cdot b^2}{6}; \quad (22)$$

R – см. формулу (8).

При рациональном запроектированном фундаменте хотя бы одно из значений R или R_{max} должно быть возможно близко к величине допустимого. Если условия (11), (12), (13) не выполняется или имеется большой запас прочности, следует изменить размеры подошвы в соответствующем направлении и путем последовательных попыток запроектировать наиболее рациональную конструкцию фундамента.

5.2. Проверка устойчивости фундамента против опрокидывания.

Проверка устойчивости фундамента против опрокидывания выполняется с учётом действующих усилий, приведённых на схеме (рис. 15).

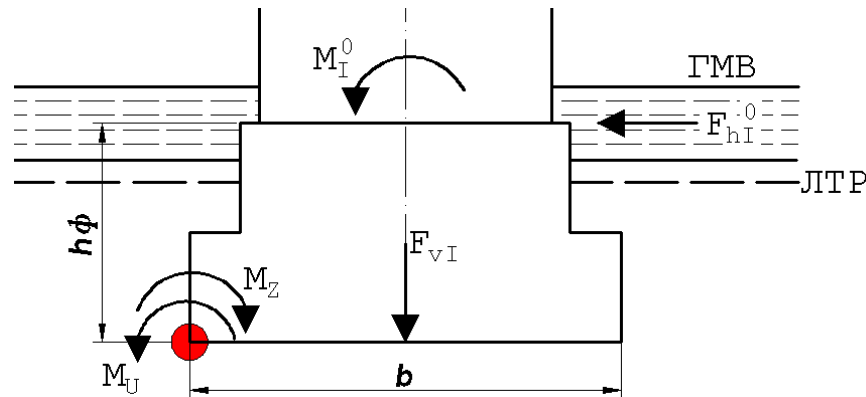


Рис. 15. Схема действующих моментов относительно возможной точки опрокидывания (поворота).

Проверяем условие:

$$M_u \leq \frac{m}{\gamma_n} M_z, \quad (23)$$

где: $m = 0,8$ – коэффициент условий работы;

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

M_u – момент опрокидывающих сил относительно оси возможного поворота, проходящей через крайнюю точку подошвы фундамента, кНм;

$$M_u = M_I = M_I^0 + F_{hI}^0 \cdot h_{\phi}. \quad (24)$$

M_z – момент удерживающих сил относительно оси возможного поворота, проходящей через крайнюю точку подошвы фундамента, кНм;

$$M_z = F_{vI} \cdot \frac{b}{2} \quad (25)$$

5.3. Проверка устойчивости фундамента против сдвига по подошве.

Проверяем условие:

$$Q_{\tau} \leq \frac{m}{\gamma_n} Q_z, \quad (26)$$

где: $m = 0,9$ – коэффициент условия работы;

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

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

$$Q_r = F_{hI}^0 \quad (27)$$

Q_z – удерживающая сила, равная сумме проекций удерживающих сил, кН;

$$Q_z = \varphi_{mp} \cdot F_{vI} , \quad (28)$$

где φ_{mp} – коэффициент трения подошвы фундамента по грунту, принимаемый:

- для глин во влажном состоянии - 0,25;
- для сухих глин, суглинков и супесей - 0,30;
- для песков - 0,40;
- для гравийных и галечниковых грунтов - 0,50.

6. Пример расчёта фундаментной опоры на естественном основании.

Выполним расчёт фундамента на естественном основании для мостовой опоры, для ранее рассмотренных грунтовых условий в соответствии с шифром задания: **1.3.2. 10(4).21(5).5(10)**. В соответствии с данным шифром задания, необходимо рассчитать для 1 мостовой схемы, опору № 3, выбрав 2 сочетание нагрузок.

Тогда исходные данные, в соответствии с табл. 1 и 2, можно представить в следующем виде (таблица № 4).

Таблица 4.

1.3.2. 10(4).21(5).5(10).	
$F_{vII}^o = 21000 \text{ кН}$	$H_0=20 \text{ м}$
$M_{II}^o = 6900 \text{ кНм}$	$L_0=13 \text{ м}$
$F_{hII}^o = 1300 \text{ кН}$	$B_0=4,5 \text{ м}$
	Глубина размыва 0,7 м

Поскольку для рассматриваемого моста опора расположена на акватории, то верх (обрез) проектируемого фундамента должен быть на 0,5 м ниже ГМВ, а подошва располагаться на 2,5 м ниже ЛТР. Тогда общая высота фундамента составит $h_{\phi}=3,7$ м, а глубина заложения $d=2,5$ м (от ЛТР).

Схему данного фундамента совместно с геологическим разрезом изобразим на рис. 16.

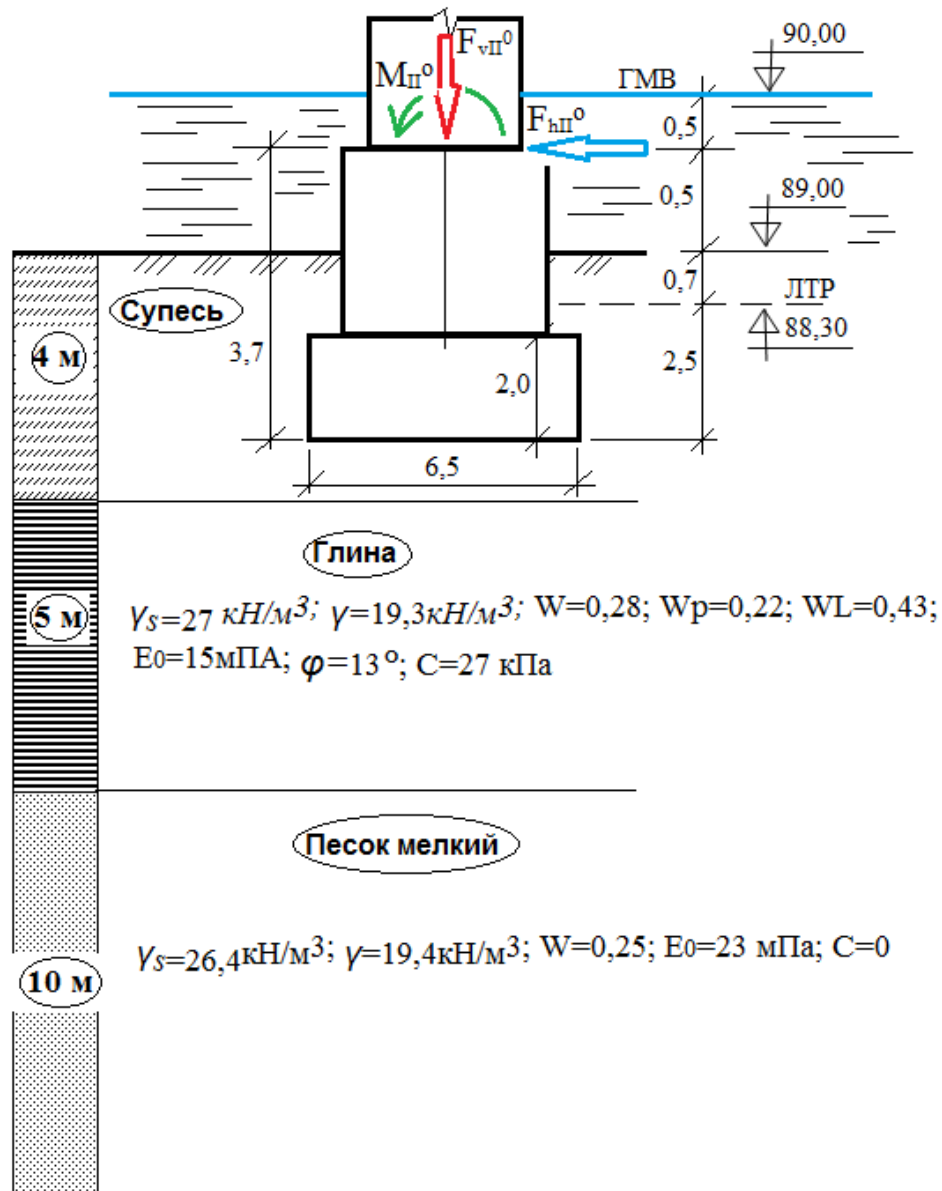


Рис. 16. Схема определения основных размеров и глубины заложения фундамента под промежуточную опору моста.

Минимальную площадь подошвы фундамента, исходя из его конструктивных особенностей, определим используя формулу (3).

$A_{\min} = b_{\min} \cdot \ell_{\min} = (B_o + 2c) \cdot (L_o + 2c) = 6,5 \times 15 = 97,5 \text{ м}^2$ (при $c=1 \text{ м}$).

Объём фундамента составит: $V_{\phi} = (97,5 \times 2,0) + (5,5 \times 14) \times 1,7 = 325,9 \text{ м}^3$

Объём грунта на ступенях фундамента: $V_{\text{гр}} = [97,5 - (5,5 \times 14)] \times 0,5 = 10,2 \text{ м}^3$

Объём воды над фундаментом: $V_w = A_{\min} \times 4,2 - V_{\phi} - V_{\text{гр}} - V_{\text{оп}} = 409,5 - 325,9 - 10,2 - 29,2 = 44,2 \text{ м}^3$

Тогда расчётные веса будут равны:

По ф. (15) $G_{\phi I} = 1,1 V_{\phi} \gamma_{\phi} = 1,1 \times 325,9 \times 24 = 8603,7 \text{ кН}$

По ф. (16) $G_{\text{гр}} = 1,2 V_{\text{гр}} \gamma_{\text{гр}}^{\text{вз}} = 1,2 \times 10,2 \times 9,9 = 121,2 \text{ кН}$

где по ф. (17) $\gamma_{\text{сп}}^{\text{вз}} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e} = \frac{26,5 - 10}{1 + 0,66} = 9,9 \text{ кН/м}^3$

По ф. (18) $G_w = V_w \gamma_w = 44,2 \times 10 = 442 \text{ кН}$

Расчётная вертикальная нагрузка в уровне подошвы фундамента составит:

По ф. (14) $F_{\text{вI}} = F_{\text{вI}}^0 + G_{\phi I} + G_{\text{гр}} + G_w = 21000 + 8603,7 + 121,2 + 442 = 30166,9 \text{ кН}$

Расчётный момент относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента, составит:

По ф. (19) $M_I = M_I^0 + F_{\text{вI}}^0 \cdot h_{\phi} = 1,2 \times 6900 + 1,2 \times 1300 \times 3,7 = 14052 \text{ кН м}$

Момент сопротивления подошвы фундамента:

По ф. (22) $W = \frac{l \cdot b^2}{6} = \frac{15 \cdot 6,5^2}{6} = 105,6 \text{ м}^3$

Напряжения по подошве фундамента (ф. 11, 12, 13):

$P_{\text{сп}} = \frac{F_{\text{вI}}}{A} = \frac{30166,9}{97,5} = 309,4 \text{ кПа}$

$$P_{\max} = \frac{F_{vl}}{A} + \frac{M_I}{W} = \frac{14052}{105,6} = 442,4 \text{ кПа}$$

$$P_{\min} = \frac{F_{vl}}{A} - \frac{M_I}{W} = 309,9 - 133 = 176,4 \text{ кПа}$$

Расчётное сопротивление основания определяем по формуле (8) при ширине подошвы $b=6,5$ м.

$$R = 1,7[R_0(1 + \kappa_1(b-2)) + \kappa_2\gamma'(d-3)];$$

где, $R_0 = 248$ кПа – условное расчётное сопротивление несущего слоя грунта (см. § 3(рис. 12)): $\kappa_1 = 0,06 \text{ м}^{-1}$; $\kappa_2=2,0$ – по таблице 3.

Тогда: $R = 1,7\{R_0[1+0,06(6,5-2)]+2 \times 19,2(3 - 3)\} = 535,3 \text{ кПа}$

$$\frac{\gamma_c \cdot R}{\gamma_n} = \frac{1,2 \cdot 535,3}{1,4} = 458,8 \text{ кПа} > P_{\max} = 442,4 \text{ кПа}$$

Таким образом, условия проверки (12) **соблюдаются.**

Проверим условия устойчивости фундамента против опрокидывания (ф.23).

Момент опрокидывающих сил относительно крайней точки подошвы фундамента (см. рис. 15), составит:

$$\begin{aligned} \text{По ф. (24)} \quad M_u = M_I = M_I^0 + F_{hl}^0 \cdot h_\phi &= 1,2 \times 6900 + 1,2 \times 1300 \times 3,7 = \\ &= 14052 \text{ кН м.} \end{aligned}$$

Момент удерживающих сил относительно крайней точки подошвы фундамента (см. рис. 15), определим из условия (25):

$$M_z = F_{vl} \cdot \frac{b}{2} = \frac{30166,9 \cdot 6,5}{2} = 98042,4 \text{ кН м}$$

$$\frac{m}{\gamma_n} M_z = \frac{0,8 \cdot 98042,4}{1,1} = 71303,5 \text{ кН м}$$

Таким образом, $14052 < 71303,5$, т.е. условие (23) **соблюдается**.

Проверим условие устойчивости фундамента против сдвига по подошве (ф. 26).

Сдвигающая сила:

$$\text{По ф. (27)} \quad Q_{\tau} = F_{hl}^0 = 1,2 \cdot 1300 = 1560 \text{ кН}$$

Удерживающая сила:

$$\text{По ф. (28)} \quad Q_z = \varphi_{mp} \cdot F_{vI} = 0,3 \cdot 30224,7 = 9067,4 \text{ кН}$$

$$\frac{m}{\gamma_n} Q_z = \frac{0,8 \cdot 9067,4}{1,1} = 6594,5 \text{ кН}$$

Таким образом, $1560 < 6594,5$, т.е. условие (26) **соблюдается**.

7. Расчеты фундамента на естественном основании по II группе предельных состояний.

В расчетах по II предельному состоянию – по деформациям для фундаментов опор мостов проводятся проверки допустимости осадок опор и их разностей, горизонтальных смещений, положения равнодействующей нагрузок или относительного эксцентриситета. От величины эксцентриситета зависит крен фундамента и, следовательно, горизонтальное перемещение верха опоры.

Проверка положения равнодействующей сил относительного эксцентриситета для случая действия на опору нормативных нагрузок:

$$\frac{e}{\rho} = \frac{M_{II}}{\rho \cdot F_{vII}} \leq 1,0, \quad (29)$$

где e – эксцентриситет равнодействующей сил, м;

ρ – радиус ядра сечения фундамента; при прямоугольной подошве фундамента определяется по формуле, (м):

$$\rho = \frac{b}{6}; \quad (30)$$

F_{vII} – нормативная вертикальная нагрузка по подошве фундамента, кН:

$$F_{vII} = F_{vII}^0 + G_{\phi} + G_{\Gamma} + G_W; \quad (31)$$

M_{II} – нормативный момент относительно центра тяжести подошвы фундамента, кНм:

$$M_{II} = M_{II}^0 + F_{hII}^0 \cdot h_{\phi} \quad (32)$$

7.1. Проверка осадки фундамента.

Для основания сложенного нескальными грунтами расчет по деформациям является необходимым. Расчет сводится к определению абсолютной осадки отдельного фундамента. Полученные величины осадки в результате расчета сравнивают с предельно допустимыми осадками:

$$S \leq S_u = 1,5\sqrt{L}, \quad (33)$$

где S – осадка по расчету, см;

S_u – предельно допустимая осадка, см;

L – длина наименьшего примыкающего к опоре пролета, принимаемая не менее 25 м.

Осадка определяется методом послойного суммирования в следующей последовательности:

1. Выполняется схема запроектированного фундамента, совмещенная с геологическим разрезом, в общем случае такая схема представлена на рис. 17.

2. Сжимаемая толща грунтов, расположенная ниже подошвы фундамента, разбивается на несколько (n) элементарных слоёв толщиной $h_i \leq 0,4b$ на глубину примерно $3b$, где b – ширина подошвы фундамента. При этом границы элементарных слоев должны совпадать с границами слоев грунта.

3. Строится эпюра природного давления σ_{zq} , возникающих в основании от веса вышележащих слоев грунта (рис. 18). При высоком положении У.Г.В. удельный вес грунта берется с учетом взвешивающего действия воды. В случае если имеем водонепроницаемый грунт (глина, суглинок с $I_L \leq 0$), тогда на поверхность этого слоя передается дополнительное давление водяного столба ($\gamma_w h_w$). Значения вертикальных напряжений от собственного веса грунта на границе каждого элементарного слоя определяются по формуле:

$$\sigma_{zqi} = \sigma_{zq0} + \sum_{i+1}^n \gamma_i h_i, \quad (34)$$

где σ_{zq0} – вертикальное напряжение от собственного веса грунта на уровне подошвы фундамента, кПа;

γ_i – удельный вес i -го слоя грунта, с учетом взвешивающего действия воды, кН/м³;

h_i – толщина i -го слоя грунта, м.

4. Строится эпюра дополнительного (уплотняющего) вертикального давления σ_{zp} под подошвой фундамента. Начальная ордината эпюры в уровне подошвы фундамента σ_{zq0} определяется по формуле:

$$\sigma_{zp0} = P_{cp} - \sigma_{zq0}, \quad (35)$$

где P_{cp} – среднее давление на грунт по подошве фундамента от нормативных нагрузок, кПа.

Значения дополнительных вертикальных напряжений в грунте вычисляются по формуле:

$$\sigma_{zpi} = \alpha_i \cdot \sigma_{zp0}, \quad (36)$$

где α_i – коэффициент рассеивания напряжений, принимаемый по таблице 5 в зависимости от формы подошвы фундамента, соотношения сторон прямоугольного фундамента $n = l/b$ и относительной глубины, равной $m = 2z/b$.

Величины дополнительных вертикальных напряжений определяются на границах элементарных слоев.

Таблица 5.

Значения коэффициентов рассеивания напряжений.

$m = \frac{2z}{b}$ или $m = \frac{z}{r}$	Коэффициенты α для фундаментов							
	круглых	Прямоугольных с соотношением сторон $n = \frac{l}{b}$, равным						Ленточных при $n \geq 10$
		1	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	0,866	0,875	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	0,284	0,336	0,414	0,463	0,505	0,530	0,545	0,550
2,4	0,213	0,257	0,325	0,374	0,419	0,449	0,470	0,477
2,8	0,165	0,201	0,260	0,304	0,349	0,383	0,410	0,420
3,2	0,130	0,160	0,210	0,251	0,294	0,329	0,360	0,374
3,6	0,106	0,131	0,173	0,209	0,250	0,285	0,319	0,337
4,0	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	0,172	0,208
6,4	0,036	0,045	0,062	0,077	0,099	0,122	0,158	0,196
6,8	0,032	0,040	0,055	0,069	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	0,025	0,032	0,044	0,056	0,072	0,091	0,123	0,166
8,0	0,023	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

5. Определяется глубина активной зоны (сжимаемой толщи).

Нижняя граница сжимаемой толщи (НГСТ) находится на глубине, где выполняется следующее условие при $E_0 \geq 5,0$ МПа:

$$\sigma_{zp} \leq 0,2 \cdot \sigma_{zq} . \quad (37)$$

Если найденная граница сжимаемой толщи находится в слое грунта с модулем деформации $E_0 < 5,0$ МПа или такой слой залегает непосредственно ниже сжимаемой толщи, то нижняя граница ее определяется из условия:

$$\sigma_{zp} \leq 0,1 \cdot \sigma_{zq} . \quad (38)$$

6. Определяется осадка (S_i) каждого элементарного слоя, который попадает в сжимаемую толщу, по формуле:

$$S_i = \beta \frac{\sigma_{zpi} \cdot h_i}{E_{0i}} , \quad (39)$$

где β – безразмерный коэффициент, равный 0,8;

σ_{zpi} – среднее значение дополнительного вертикального напряжения в i -ом слое грунта, кПа;

h_i и E_{0i} - соответственно толщина (м) и модуль общей деформации (кПа) i -го слоя грунта.

7. Определяется расчетная величина осадки фундамента как сумма осадок элементарных слоев в пределах сжимаемой толщи основания:

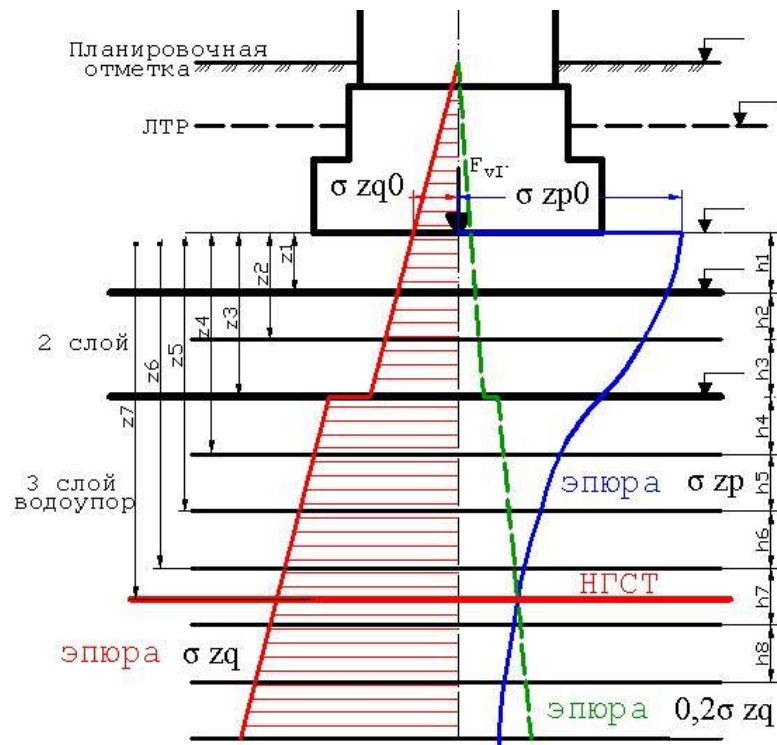
$$S = \sum_{i=1}^n S_i , \quad (40)$$

где n – число элементарных слоев в пределах сжимаемой толщи.

Все вычисления осадки выполняется в табличной форме (таблица 6).

Таблица 6.

Номер элементарного слоя	Глубина подошвы элементарного слоя от подошвы фундамента, z_i (м)	Толщина слоя, h_i (м)	Удельный вес грунта, с учетом взвешивающего действия воды γ , кН/м ³	Природное давление σ_{zq} на глубине z_i , кПа	Коэффициент $m = 2z/b$	Коэффициент α_i	Дополнительное давление σ_{zp} на глубине z_i , кПа	Среднее давление в слое $\bar{\sigma}_{zp}$, кПа	Модуль деформации каждого слоя E_i , кПа	Осадка слоя, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11



а)

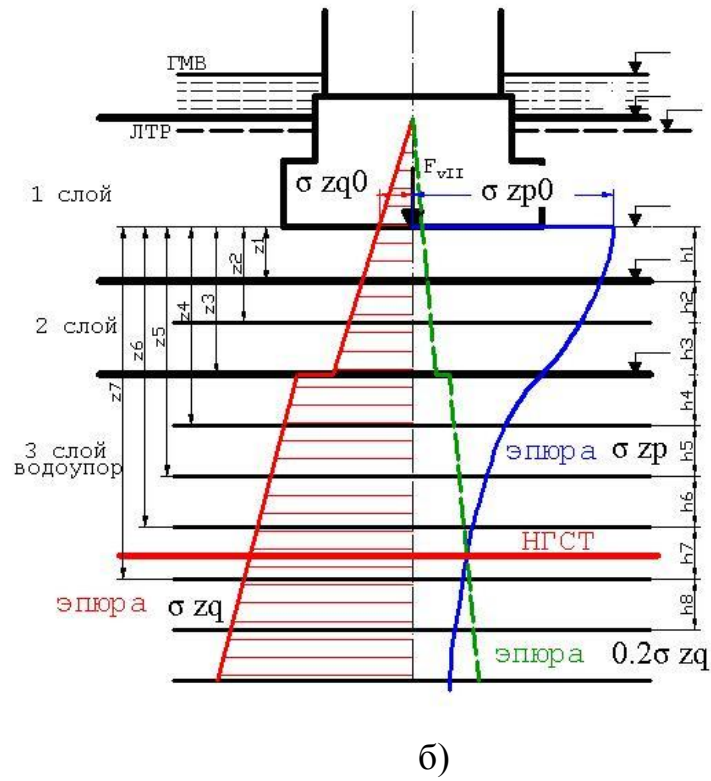
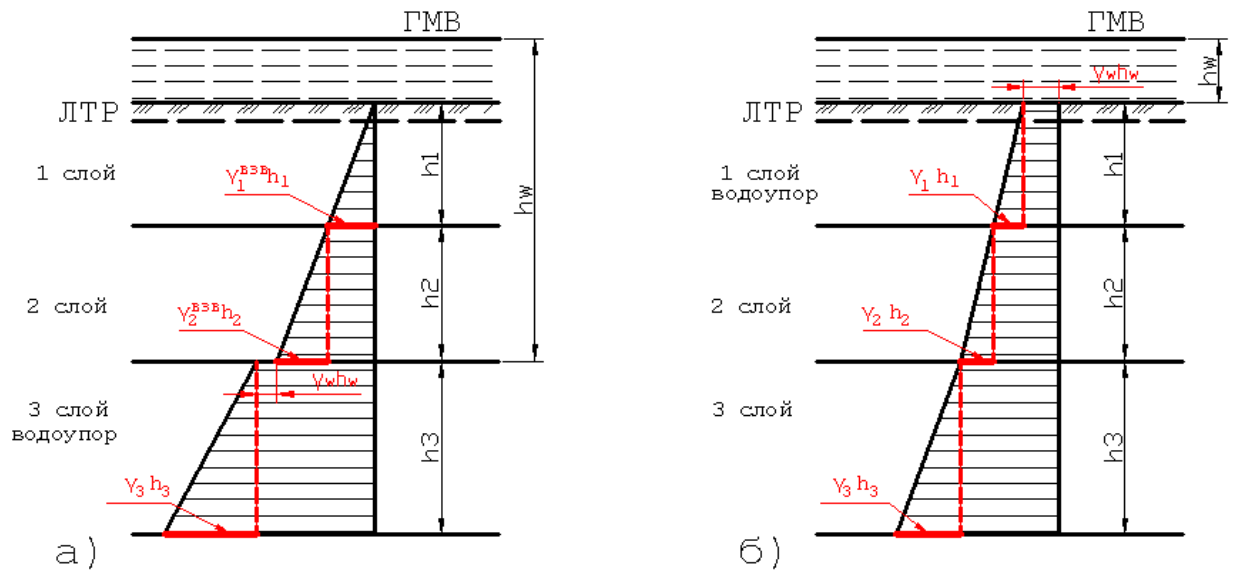


Рис. 17. Расчетная схема для определения осадки фундамента:
 а) опоры на суходоле; б) промежуточной опоры.



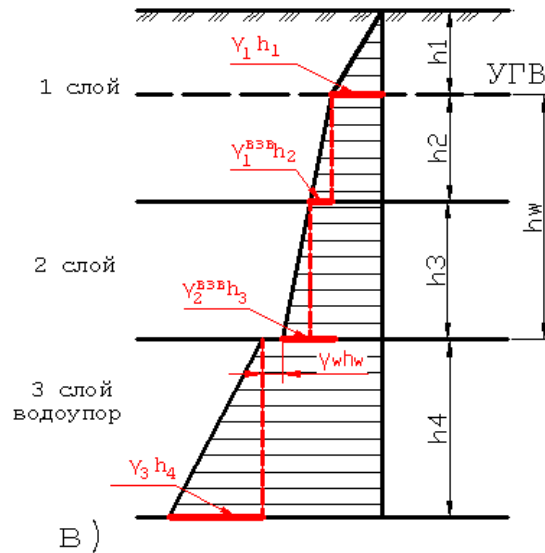


Рис. 18. Эпюры природных давлений δ_{zq} :

- а) при наличии поверхностных вод и третьего водоупорного слоя;
- б) при наличии поверхностных вод и первого водоупорного слоя;
- в) при наличии грунтовой воды и третьего водоупорного слоя.

Следует подчеркнуть, что если условие (33) не выполняется, то необходимо либо укреплять основание, либо переходить к устройству свайного фундамента.

7.2. Проверка горизонтального смещения верха опоры.

Данную проверку осуществляем исходя из следующего условия:

$$\delta \leq \delta_u = 0,5\sqrt{L}, \quad (41)$$

где δ_u – предельно допустимое смещение, см;

L – длина наименьшего примыкающего к опоре пролета, принимаемая не менее 25 м.

δ – горизонтальное смещение по расчету, м:

$$\delta = i(H_0 + h_\phi), \quad (42)$$

где H_0 – высота опоры (берется из задания), м;

h_ϕ – высота фундамента, м;

i – крен фундамента определяется по формуле:

$$i = k_c \frac{1 - \nu^2}{E_0} \cdot \frac{M_{II}}{\left(\frac{b}{2}\right)^3}, \quad (43)$$

где ν и E_0 – соответственно, средневзвешенные значения коэффициента Пуассона (таблица 7) и модуля общей деформации для всей сжимаемой толщи;

b – ширина подошвы фундамента, м;

M_{II} – нормативный момент относительно центра тяжести подошвы фундамента, кНм;

k_c – коэффициент, принимаемый в зависимости соотношения сторон прямоугольного фундамента $n = l/b$ по графику на рис. 19.

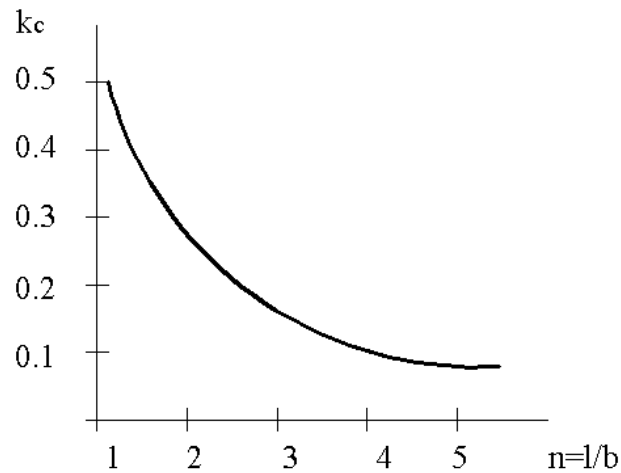


Рис. 19. Графическое определение коэффициента k_c

Таблица 7.

Наименование грунта	Коэффициент Пуассона, ν
Глина	0,42
Суглинок	0,35
Пески, супеси	0,30

8. Определение размеров и осадки фундамента на естественном основании с учётом нагрузок по его обрезу с использованием программного обеспечения на сайте www.buildcalc.ru.

Основные предпосылки данного метода расчёта изложены в книге «Осадки фундаментов при реконструкции зданий» [2] и помещены на сайте www.buildcalc.ru. Выполнение расчётов может осуществляться непосредственно в интернете, из любой географической точки (что важно для студентов вечерне – заочной формы обучения) и в любое удобное время.

Данный программный расчёт (BRWL) в соответствии с требованиями СНиП 2.02.01-83*, позволяет определить:

1. Величину расчётного сопротивления грунта основания (R) по заданным размерам фундамента и физико-механическим характеристикам грунтов основания.
2. Величину осадки (S) фундамента при заданной степени нагружения (расчёт по II предельному состоянию).
3. Величину предельного давления на грунт основания ($P_{пр.}$) (расчёт по I предельному состоянию) с определением коэффициента надёжности - K_n .
4. Величину среднего ($P_{ср.}$), минимального (P_{min}) и максимального (P_{max}) давлений на грунт основания от существующей нагрузки и размеров фундамента.

Выполняя расчёты фундамента по программе BRWL, пользователь может самостоятельно проверить свои вычисления, выполненные ранее с использованием аналитических формул и, таким образом, получить подтверждение в правильном освоении приобретённых знаний.

Рассмотрим предыдущий пример (см. §3.1), с использованием программы **BRWL** (см. сайт: www.buildcalc.ru).

Ниже представлена итоговая распечатка программного решения (BRWL), для тестового примера по шифру задания **1.3.2. 10(4).21(5).5(10)**,

выполненного непосредственно в интернете. Следует подчеркнуть, что при вводе грунтовых условий, необходимые характеристики грунтов взяты:

- из результатов выполненного анализа по инженерно-геологическим изысканиям из таблицы на рис. 11, полученной по результатам работы программы GRUNT.
- предельная осадка получена по результатам предварительного вычисления по формуле (33).



BRWL - Расчёт фундамента с учётом нагрузок по его обрезу

Отчёт

[Версия для печати](#)

Учётные данные

Объект:	Мостовая опора № 3
Тип здания:	Ж/д мост

Данные по фундаменту

Основные данные фундамента

Тип фундамента:	Столбчатый
Тип стены:	Наружная
Высота фундамента (размер фундамента от обреза до подошвы), м:	3.70
Глубина заложения фундамента (расстояние от планировочной отметки до подошвы фундамента), м:	3.20
Ширина подошвы фундамента, м:	6.50

Данные столбчатого фундамента

Соотношение сторон подошвы фундамента $N = L / B$:	2.30
---	------

Нагрузки по обрезу фундамента

Вертикальная нагрузка N , кН:	21,000.00
Горизонтальная нагрузка, приложенная поперёк ширины подошвы фундамента Q_B , кН:	1,300.00
Изгибающий момент, приложенный поперёк ширины подошвы фундамента M_B , кН*м:	6,900.00
Горизонтальная нагрузка, приложенная вдоль длины подошвы фундамента Q_L , кН:	0.00
Изгибающий момент, приложенный вдоль длины подошвы фундамента M_L , кН*м:	0.00

Данные по грунту

Введённые данные

№	Н, м	Наименование	Тип грунта	γ , кН/м ³	Φ , °	C , кПа	e	W	I_L	E	μ	Источник данных
1	4	Супесь	Пылевато-глинистые, а также	19.2	24	6	0.66	0.2	0.33	15	0.3	Эксперимент

			крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем									
2	5	Глина	Пылевато-глинистые, а также крупнообломочные с пылевато-глинистым заполнителем	19.3	13	27	0.79	0.28	0.29	15	0.42	Эксперимент
3	10	Песок мелкий	Пески мелкие	19.4	27	0	0.7	0.25	-	23	0.3	Эксперимент

Расчётные данные

№	H, м	γ_{1r} , кН/м ³	γ_{2r} , кН/м ³	φ_{1r} , °	φ_{2r} , °	c_{1r} , кПа	c_{2r} , кПа	γ_{c1}	γ_{c2}	K
1	0.70	17.45	19.20	20.87	24.00	4.00	6.00	1.20	1.08	1.00
2	3.30	17.45	19.20	20.87	24.00	4.00	6.00	1.20	1.08	1.00
3	5.00	17.55	19.30	11.30	13.00	18.00	27.00	1.20	1.08	1.00
4	10.00	9.09	10.00	24.55	27.00	0.00	0.00	1.30	1.26	1.00

Дополнительная информация

Грунтовые воды

Действие грунтовых вод учитывается	
Уровень грунтовых вод, м:	0.70

Информация о сооружении

Сооружение обладает жёсткой конструктивной схемой	
Отношение длины сооружения или его отсека к высоте:	2.00

Справочная информация

Удельный вес минеральных частиц грунта, кН/м ³ :	27.00
Удельный вес воды, кН/м ³ :	10.00

Результаты расчёта

Расчитанные данные по совместной работе грунта и фундамента

Средневзвешенное значение удельного веса грунта по I-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	17.45
Средневзвешенное значение удельного веса грунта по II-му предельному состоянию выше подошвы фундамента, кН/м ³ :	19.20
Приведённая глубина заложения фундамента d_1 , м:	3.20

Расчитанные данные по основанию

Расчётное сопротивление грунта основания R, кПа:	538.82
Предельное давление (несущая способность) грунта основания $R_{пр}$, кПа:	822.19
Предельная нагрузка на фундамент $N_{пр}$, кН:	79,896.40
Минимальное давление под подошвой фундамента R_{min} , кПа:	168.87
Среднее давление под подошвой фундамента R_{cp} , кПа:	280.10
Максимальное давление под подошвой фундамента R_{max} , кПа:	391.34
Осадка фундамента S, см:	14,2
Коэффициент надёжности:	2.64

- Осадка превышает предельно допустимое значение для заданного типа сооружений

(8 см). Необходимо уменьшить нагрузку на фундамент либо укреплять основание.

Рис. 20. Результаты расчёта мостовой опоры – фундамента на естественном основании по программе BRWL на сайте www.buildcalc.ru.

Как видно из полученного решения (рис. 20) устойчивость фундаментной опоры обеспечена (коэффициент надёжности равен 2,64, т.е. выполняются условия расчёта по I предельному состоянию), однако осадка фундамента (S) превышает предельно допустимое значение, т.е. не выполняется условие (33).

Вывод. Необходимо переходить к расчёту фундамента глубокого заложения с включением в работу мелких песков (с $E_0=23$ МПа), т.е. использование свайного фундамента.

9. Проектирование свайных фундаментов.

Свайный фундамент состоит из свай и плиты (ростверка), объединяющей сваи и передающей на них нагрузку от сооружения. Свайные фундаменты применяют при залегании слабых грунтов в основании. При этом с использованием низких (заглубленных в грунт) или высоких (часть свай возвышается над поверхностью) ростверков.

Вид применяемых в фундаменте свай (забивных, буронабивных и т. д.) зависит от грунтовых условий площадки и передаваемых на фундамент нагрузок. В данной работе рекомендуется применять забивные призматические сваи с постоянным сечением.

Свайный фундамент целесообразно проектировать поэтапно в следующей последовательности:

9.1. Назначение глубины заложения ростверка, выбор его типа, материала, определение предварительных размеров в плане.

Для мостов при расположении поверхностной воды на глубину менее 3,0 м следует проектировать свайный фундамент с низким ростверком из монолитного железобетона класса не ниже В20. Отметка обреза, уступы в

плоскости обреза принимаются как для фундамента мелкого заложения на естественном основании (см. рис. 13).

Глубина заложения подошвы ростверка для опоры на суходоле, с учетом конструктивных условий, принимается равной 2,0 м. Для промежуточной опоры глубина заложения подошвы ростверка назначается не менее 1,0 м ниже линии теоретического размыва (ЛТР).

Минимальные размеры подошвы ростверка в плане определяются размерами надфундаментной конструкцией опоры (см. формулу (3)).

9.2. Сбор нагрузок.

Расчетные нагрузки на уровне обреза фундамента F_{VI}^0 ; F_{VII}^0 ; M_{VI}^0 - определены при расчете фундамента на естественном основании (см. формулы (5), (20) и (21)).

9.3. Выбор несущего слоя.

При выборе несущего слоя грунта в первую очередь оценивается грунт на глубине 4 м от подошвы ростверка, так как минимальная длина сваи 4 м. Затем оценивают прочность нижележащих слоев грунта. При этом условное расчётное сопротивление грунта в уровне острия сваи рекомендуется принимать $R_0 > 250$ кПа (см. § 3.1 (рис. 12)).

9.4. Определение длины сваи и выбор тип свай.

Длина сваи назначается после принятия глубины заложения ростверка и определяется глубиной залегания прочного грунта, в который заглубляется свая и уровнем расположения подошвы ростверка. При назначении длины сваи слабые грунты (насыпные, торф, грунты в текучем и рыхлом состоянии) необходимо прорезать, а концы свай заглублять в прочные грунты. Заглубление сваи в несущий слой должна быть:

- в пески гравелистые, крупные и средней крупности и глинистые грунты с показателем текучести $J_L \leq 0,1$ на глубину не менее 0,5 м;
- в прочие виды не скальных грунтов - не менее 1,0 м.

Длина сваи – L (расстояние от головы до начала заострения сваи) определяется из выражения:

$$L = \delta + H + L_{\text{несущ. слоя}}, \quad (44)$$

где δ – глубина заделки сваи в ростверк, м;

H – мощность слабых грунтов, которые проходит свая, м;

$L_{\text{несущ. слоя}}$ – глубина заглубления сваи в несущий слой, м.

Глубина заделки сваи в ростверк зависит от вида соединения:

- - при свободном опирании голова сваи входит в ростверк на глубину 5-10 см, такое соединение возможно для центрально нагруженных свай;
- - при жестком соединении величина заделки сваи в ростверк должна быть не менее 30 диаметра рабочей арматуры, такое соединение предусматривается при расположении свай в слабых грунтах при действии нагрузки с большим эксцентриситетом или при значительных горизонтальных нагрузках.

Полученную длину сваи округляют до длины стандартной сваи (в большую сторону) и принимают поперечное сечение свай (таблица 8).

Таблица 8.

Сваи железобетонные забивные призматические (по ГОСТ 19804-78).

Сечение сваи, мм	Длина свай, м	Марка бетона	Сечение и класс продольной арматуры
200×200	3,0 - 6,0 (кратной 0,5 м)	B15	4d12 A400
250×250	4,5 – 6,0 (кратной 0,5 м)	B15	4d12 A400
300×300	3,0 – 6,0 (кратной 0,5 м); 7,0	B15	4d12 A400
300×300	8,0; 9,0; 10,0	B20	4d12 A400
300×300	11,0; 12,0	B20	4d16 A400
350×350	8,0; 9,0; 10,0 (кратной 1,0 м)	B20	4d12 A400
350×350	11,0; 12,0	B20	4d16 A400
350×350	13,0 - 16,0 (кратной 1,0 м)	B25	8d16 A400

400×400	13,0 - 16,0 (кратной 1,0 м)	B25	8d16 A400
---------	-----------------------------	-----	-----------

9.5. Определение несущей способности свай.

Несущая способность висячей сваи по условию прочности грунта определяется по формуле:

$$F_d = \gamma_c \left(\gamma_{cR} \cdot R \cdot A + u \sum_{i=1}^n \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i \right), \quad (45)$$

где γ_c ; γ_{cR} ; γ_{cf} – коэффициенты условий работы, зависящие от вида грунта и способа погружения; для свай погружаемых забивкой: $\gamma_c = \gamma_{cR} = \gamma_{cf} = 1$;

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, принимается по таблице 10, кПа;

A – площадь поперечного сечения сваи, м²;

u – периметр поперечного сечения сваи, м;

h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м;

f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта мощностью h_i (не более 2,0 м) по боковой поверхности сваи, принимаемое по таблице 9, кПа.

При определении f_i и h_i пласты грунтов, прорезанные свайей, следует расчленить на однородные слои толщиной не более 2,0 м (рис. 21). Для песков плотного сложения расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи (R) повышается на 60%, а расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности сваи (f_i) – на 30%.

Таблица 9.

Расчетные сопротивления (f) по боковой поверхности свай.

Расстояние от ЛТР или поверхности грунта до середины рассматриваемого слоя z_i , м	Расчетное сопротивление f песчаных грунтов средней плотности, кПа			
	Крупные и средней крупности	мелкие	пылеватые	
	Расчетное сопротивление f глинистых грунтов с консистенцией J_L , кПа			

	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	35	23	15	12	8	4	4	3	2
2	42	30	21	17	12	7	5	4	4
3	48	35	25	20	14	8	7	6	5
4	53	38	27	22	16	9	8	7	6
5	56	40	29	24	17	10	8	7	6
6	58	42	31	25	18	10	8	7	6
8	62	44	33	26	19	10	8	7	6
10	65	46	34	27	19	10	8	7	66
15	72	51	38	28	20	11	8	7	6
20	79	56	41	30	20	12	8	7	6
25	86	61	44	32	20	12	8	7	6
30	93	66	47	34	21	12	9	8	7
35	100	70	50	36	22	13	9	8	7

Примечания 1. Для плотных песков значение f увеличивается на 30%.

Таблица 10.

Расчетные сопротивления грунта (R) под нижним концом забивных свай.

Глубина погружения нижнего конца сваи Z_R , м	Расчетное сопротивление песчаных грунтов средней плотности, МПа						
	гравелистые	крупные	-	средней крупности	мелкие	пылеватые	
	и глинистых грунтов с консистенцией J_L , МПа						
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
3	7,5	$\frac{6,6}{4}$	3	$\frac{3,1}{2}$	$\frac{2}{1,2}$	1,1	0,6
4	8,3	$\frac{6,8}{5,1}$	3,8	$\frac{3,2}{2,5}$	$\frac{2,1}{1,6}$	1,25	0,7
5	8,8	$\frac{7,0}{6,9}$	4	$\frac{3,4}{2,8}$	$\frac{2,2}{2}$	1,3	0,8
7	9,7	$\frac{7,3}{6,9}$	4,3	$\frac{3,7}{3,3}$	$\frac{2,4}{2,2}$	1,4	0,85
10	10,5	$\frac{7,7}{7,3}$	5	$\frac{4}{3,5}$	$\frac{2,6}{2,4}$	1,5	0,9
15	11,7	$\frac{8,2}{7,5}$	5,6	$\frac{4,4}{4}$	2,9	1,65	1,0
20	12,6	8,5	6,2		3,2	1,8	1,1

				$\frac{4,8}{4,5}$			
25	13,4	9	6,8	5,2	3,5	1,95	1,2
30	14,2	9,5	7,4	5,6	3,8	2,1	1,3
35	15	10	8	6	4,1	2,25	1,4

П р и м е ч а н и е. Значения R в числителе соответствуют пескам средней плотности, а в знаменателе – глинистым грунтам.

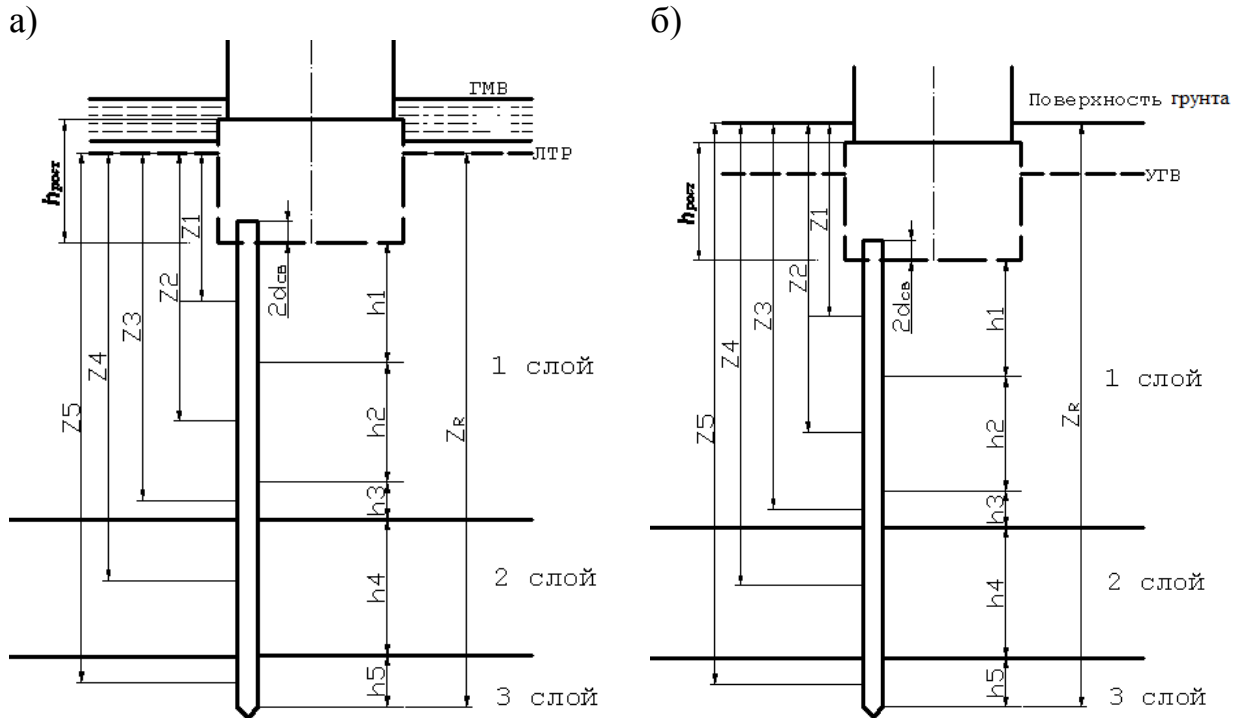


Рис. 21. Схемы к определению несущей способности сваи:

а) промежуточная опора; б) опора на судоле.

9.6. Определение допустимой нагрузки на сваю.

Расчетная (допустимая) нагрузка на сваю определяется по формуле:

$$P = \frac{F_d}{\gamma_k}, \quad (46)$$

где $\gamma_k = 1,4$ – коэффициент надежности.

9.7. Определение числа свай.

Количество свай определяется по формуле:

$$n = k \frac{F_{vl}^0 + G_{pl}}{P}, \quad (47)$$

где k – коэффициент, учитывающий перегрузку отдельных свай от момента и горизонтальной силы, принимаемый $k = 1,3$.

G_{pI} – расчетный вес ростверка:

$$G_{pI} = 1,1 \cdot l_p \cdot b_p \cdot \gamma_p, \quad (48)$$

где $\gamma_p = 25 \text{ кН/м}^3$ - удельный вес железобетона ростверка ;

l_p, b_p - минимальные размеры подошвы ростверка.

Полученное число свай округляется до целого числа в сторону увеличения, удобного для размещения.

9.8. Размещение свай и уточнение размеров ростверка.

Полученное расчетом число свай должно быть размещено так, чтобы расстояние между осями свай было не менее $3d_{св}$ ($d_{св}$ – сторона поперечного сечения ствола сваи). Расстояние от наружной грани сваи до края ростверка ($s_{свс}$) принимается не менее 0,25 м.

Если найденное число свай не удастся разместить в пределах подошвы ростверка, то следует увеличить его размеры.

10. Расчеты свайного фундамента по предельным состояниям.

10.1. Расчёт свайного фундамента по несущей способности (по I группе предельных состояний).

Цель расчета обеспечить прочность свай, ростверка, грунта основания.

Для любой сваи должно выполняться условие:

$$N_i \leq P, \quad (49)$$

где N_i – расчетная нагрузка на сваю, кН;

P – расчетная (допустимая) нагрузка, определяемая по формуле (46).

Обычно проверяют расчетную нагрузку на крайнюю сваю со стороны наибольшего сжимающего напряжения (наиболее нагруженную сваю):

$$N_{\max} = \frac{F_{vI}}{n_{\phi}} \pm \frac{M_I \cdot y_{\max}}{\sum_{i=1}^n y_i^2}, \quad (50)$$

где y_{\max} – расстояние в направлении действия момента M_I (в плоскости вдоль моста) от главной центральной оси инерции подошвы фундамента до оси крайнего ряда свай, м;

$\sum_{i=1}^n y_i^2$ – сумма квадратов расстояний от главной центральной оси инерции подошвы фундамента до оси каждой свай;

n_{ϕ} – фактическое число свай.

F_{vI} – расчетная вертикальная нагрузка на уровне подошвы ростверка, кН:

$$F_{vI} = F_{vI}^0 + G_{Ip}; \quad (51)$$

M_I – расчетный момент всех сил относительно центра тяжести подошвы ростверка, кНм:

$$M_I = M_I^0 + F_{hI}^0 \cdot h_p. \quad (52)$$

Если условие (49) не выполняется, необходимо увеличить длину или поперечное сечение свай и пересчитать несущую способность свай.

10.2. Расчет свайного фундамента как условного массива.

Предварительно определяются границы условного массивного фундамента (рис.22). Для этого находят средневзвешенное значение угла внутреннего трения грунтов, пройденных сваями:

$$\varphi_{cp} = \frac{\sum \varphi_i \cdot h_i}{\sum h_i}, \quad (53)$$

где φ_i – расчетные значения углов внутреннего трения слоев грунта, пройденных сваями;

h_i – толщина слоев грунта, пройденных сваями.

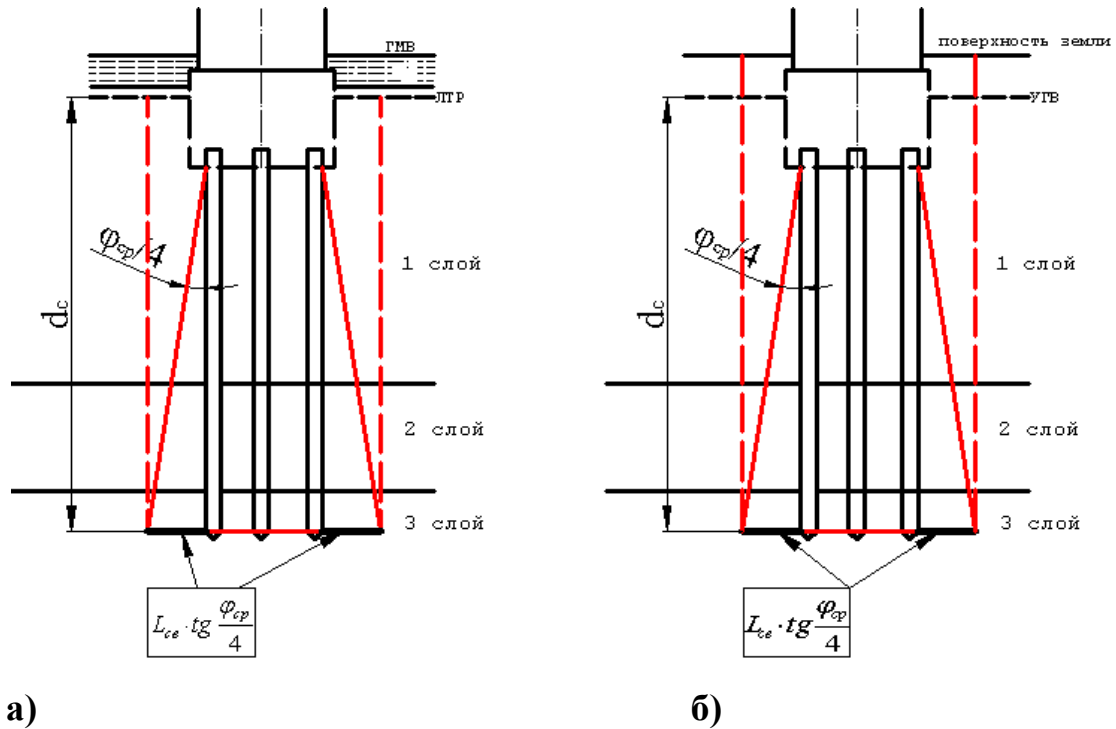


Рис. 22. Схема определения размеров условного массива:
а) промежуточная опора; б) опора на суходоле.

Проверка напряжений по подошве условного фундамента производится по формуле:

$$P_{\max} = \frac{F_{vlc}}{a_c \cdot b_c} \leq \frac{\gamma_c \cdot R_c}{\gamma_n}, \quad (54)$$

где F_{vlc} – расчетная вертикальная нагрузка в основании условного массивного фундамента с учетом веса свай и грунта в пределах условного массивного фундамента без учета гидростатического взвешивания, кН:

$$F_{vlc} = F_{vl}^0 + G_{Ip} + G_{Icсва} + G_{II} + G_W, \quad (55)$$

где a_c , b_c – длина и ширина подошвы условного фундамента, м;

$\gamma_c = 1,2$; $\gamma_n = 1,4$ – коэффициенты условия работы и надежности по назначению сооружения;

R_c – расчетное сопротивление грунта в уровне подошвы условного массивного фундамента кПа:

$$R_c = 1,7[R_0(1 + \kappa_1(b_c - 2)) + \kappa_2\gamma'(d_c - 3)], \quad (56)$$

где d_c – расстояние от планировочной отметки или от ЛТР до нижних концов свай (см. рис. 22);

R_0 – условное расчетное сопротивление грунта, кПа;

k_1, k_2, γ' - см. формулу 8;

b_c – ширина подошвы условного фундамента, м (при $b_c > 6$ м принимается $b_c = 6$ м).

10.3. Расчёт по деформациям свайного фундамента (II группа предельных состояний).

Расчет осадки свайного фундамента производится аналогично расчету осадки фундамента на естественном основании. При этом верхняя граница сжимаемой толщи соответствует подошве условного массивного фундамента, и расчет производится от действия нормативных постоянных нагрузок.

11. Пример расчёта свайного фундамента мостовой опоры.

Выполним расчёт свайного фундамента для мостовой опоры, для ранее рассмотренных грунтовых условий в соответствии с шифром задания: 1.3.2.10(4).21(5).5(10). В соответствии с данным шифром задания, необходимо рассчитать для 1 мостовой схемы, опору № 3, выбрав 2 сочетание нагрузок.

Исходные данные приведены в таблице № 4 (см. пример расчета фундамента на естественном основании) и рис. 11 (см. пример работы по программе GRUNT).

Назначаем глубину заложения ростверка (d_p). Глубина заложения подошвы ростверка назначается не менее 1,0 м ниже линии теоретического размыва (ЛТР) (рис. 23).

Принимаем: $d_p = 1,0$ м, $h_p = 2,2$ м (высота ростверка).

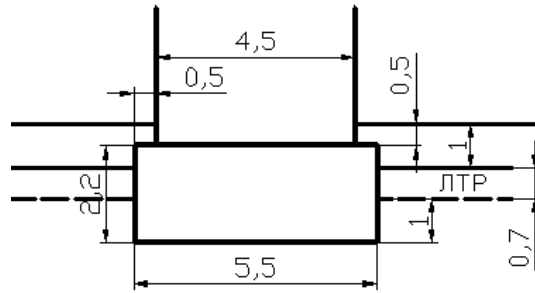


Рис. 23. Схема конструктивных размеров ростверка с минимальной глубиной заложения

Предварительные размеры ростверка:

$$b_p = 4,5 + 2 \cdot 0,5 = 5,5 \text{ м} \quad l_p = 13,0 + 2 \cdot 0,5 = 14,0 \text{ м}$$

11.1. Выбор типа, длины и поперечного сечения сваи.

Определяем предварительную длину сваи (по ф.44):

$$L = (0,016 \cdot 30) + 2,3 + 5,0 + 2,5 = 10,3 \text{ м}$$

Принимаем (табл. 8) сваи железобетонные забивные призматические. Поперечное сечение сваи - 350×350 мм; длина - $L = 12,0$ м; марка бетона - В20; сечение и класс продольной арматуры - 4Ø16 А400 (рис. 24).



Рис. 24. Схема к определению размеров и несущей способности сваи

11.2. Определение несущей способности свай и их количества.

Несущая способность свай по условию прочности грунта определяется по формуле 45:

$$F_d = 1(1 \cdot 2700 \cdot 0,1225 + 1,4(28 \cdot 1,3 + 34 \cdot 1 + 39 \cdot 2 + 43 \cdot 2 + 1 \cdot 44 + 2 \cdot 45 + 2 \cdot 47)) =$$

$$= 330,75 + 647,0 = 977,0 \text{ кН}$$

$$\gamma_c = \gamma_{cf} = 1$$

$R = 2,7$ МПа для песка мелкого средней плотности (табл. 10);

$$A = 0,1225 \text{ м}^2$$

$$u = 1,4 \text{ м}$$

Определяем расчетные сопротивления по боковой поверхности свай (табл. 9):

$$h_1 = 1,3 \text{ м}; z_1 = 1,65 \text{ м}; f_1 = 28 \text{ кПа}$$

$$h_2 = 1,0 \text{ м}; z_2 = 2,8 \text{ м}; f_2 = 34 \text{ кПа}$$

$$h_3 = 2,0 \text{ м}; z_3 = 4,3 \text{ м}; f_3 = 39 \text{ кПа}$$

$$h_4 = 2,0 \text{ м}; z_4 = 6,3 \text{ м}; f_4 = 43 \text{ кПа}$$

$$h_5 = 1,0 \text{ м}; z_5 = 7,8 \text{ м}; f_5 = 44 \text{ кПа}$$

$$h_6 = 2,0 \text{ м}; z_6 = 9,3 \text{ м}; f_6 = 45 \text{ кПа}$$

$$h_7 = 2,0 \text{ м}; z_7 = 11,3 \text{ м}; f_7 = 47 \text{ кПа}$$

Расчетная (допустимая) нагрузка на сваю, кН (по ф. 46):

$$P = \frac{977,0}{1,4} = 699,0$$

Определяем вес ростверка (по ф. 48):

$$G_{pl} = 1,1 \cdot 5,5 \cdot 14,0 \cdot 2,2 \cdot 25,0 = 5526,6 \text{ кН}$$

Определяем количество свай (по ф. 47):

$$n = 1,3 \frac{25200 + 5526,6}{699,0} = 57$$

Принимаем 60 свай (из условий конструктивного размещения под подошвой ростверка).

11.3. Конструирование ростверка.

Полученное количество свай размещаем в плане (рис. 25) из условий минимальных расстояния между сваями (3d) и размерами ростверка (14,0x5,5).

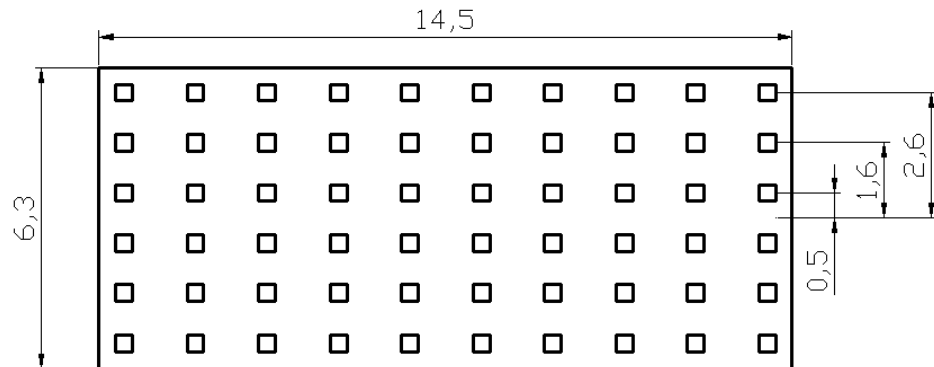


Рис. 25. Размещение свай в плане ростверка.

11.4. Проверка свайного фундамента по I предельному состоянию.

Определяем расчетную нагрузку на крайнюю сваю со стороны наибольшего сжимающего напряжения (наиболее нагруженную сваю), кН (по ф. 50, 51, 52) и проверяем условие (49):

$$N_{\max} = \frac{25200 + 1,1 \cdot 6,3 \cdot 14,5 \cdot 2,2 \cdot 25,0}{60} + \frac{11712,0 \cdot 2,6}{191,4} = 512,1 + 159,1 = 671,7 \text{ кН}$$

$$M_I = 1,2 \cdot 6900 + 1,2 \cdot 1300 \cdot 2,2 = 11712,0 \text{ кНм}$$

$$\sum y^2 = 0,5^2 \cdot 2 \cdot 10 + 1,6^2 \cdot 2 \cdot 10 + 2,6^2 \cdot 2 \cdot 10 = 191,4 \text{ м}^2$$

$$N_{\max} = 671,7 \text{ кН} < P = 699,0 \text{ кН}$$

Условие (49) выполняется.

11.5. Расчет свайного фундамента как условного массива.

Предварительно определяются границы условного массивного фундамента (рис. 26). Для этого находим средневзвешенное значение угла внутреннего трения грунтов, пройденных сваями (по ф. 53):

$$\varphi_{\text{cp}} = \frac{24 \cdot 2,3 + 13 \cdot 5 + 27 \cdot 4}{11,3} = 20^\circ$$

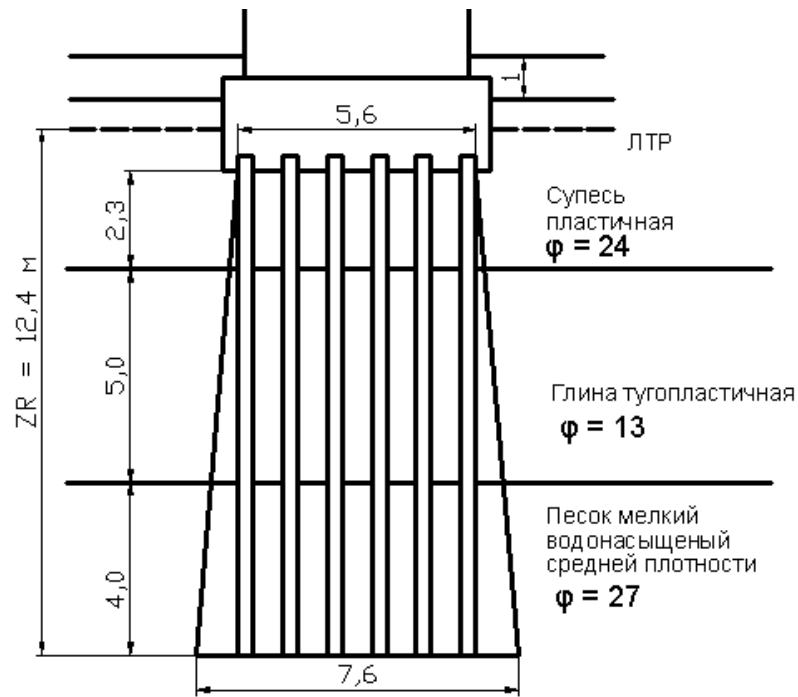


Рис. 26. Схема определения условного массива для свайного фундамента

Ширина подошвы условного массива, м:

$$b_c = b_0 + 2 \cdot L \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\varphi_{cp}}{4} \right) = 5,6 + 2 \cdot 11,5 \cdot \operatorname{tg} \frac{20}{4} = 7,6$$

Длина подошвы условного массива, м:

$$a_c = a_0 + 2 \cdot L \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\varphi_{cp}}{4} \right) = 13,8 + 2 \cdot 11,5 \cdot \operatorname{tg} \frac{20}{4} = 15,8$$

Расчетная вертикальная нагрузка в основании условного массива с учетом веса ростверка (G_{pl}), свай ($G_{свайл}$) и грунта ($G_{гп}$) в пределах условного массива без учета гидростатического взвешивания (по ф. 55):

$$F_{vlc} = F_{vl}^0 + G_{pl} + G_{свайл} + G_{гп}$$

$$G_{свайл} = 0,35 \cdot 0,35 \cdot 12 \cdot 60 \cdot 24 = 2116,8 \text{ кН}$$

$$G_{гп} = (7,6 \cdot 15,8 \cdot 12,4 - 0,35 \cdot 0,35 \cdot 12 \cdot 60 - 14,5 \cdot 6,3 \cdot 1) 19,3 = 25271,4 \text{ кН}$$

$$G_{pl} = 1,1 \cdot 6,3 \cdot 14,5 \cdot 2,2 \cdot 25,0 = 5526,6 \text{ кН}$$

$$F_{vlc} = F_{vl}^0 + G_{pl} + G_{свайл} + G_{гп} = 25200 + 5526,6 + 2116,8 + 25271,4 = 58114,8 \text{ кН}$$

Расчетное сопротивление грунта в уровне подошвы условного массива по ф. 56:

$$R_c = 1,7[200(1 + 0,08(6,0 - 2)) + 2,5 \cdot 19,4(12,4 - 3)] = 1223,8 \text{ кПа}$$

Проверка напряжений по подошве условного фундамента производится по формуле 54:

$$P_{\max} = \frac{58114,8}{15,8 \cdot 7,6} = 483,9 \text{ кПа}$$

$$P_{\max} = 483,9 \text{ кПа} < \frac{\gamma_c \cdot R_c}{\gamma_n} = \frac{1,2 \cdot 1223,8}{1,4} = 1049 \text{ кПа}$$

Условие (54) выполняется.

11.6. Проверка свайного фундамента по II группе предельных состояний (по деформациям свайного фундамента).

Проверяем условие:

$$S \leq S_u \quad (57)$$

S – расчетная величина осадки, см;

S_u – предельно допустимая величина осадки, см, определяем по формуле 33:

$$S_u = 1,5\sqrt{L} = 1,5\sqrt{25} = 7,5 \text{ см}$$

Сжимаемую толщу грунтов разбиваем на элементарные слои толщиной:

$$h_i \leq 0,4b = 0,4 \cdot 7,6 = 3,04 \text{ м}$$

Определяем вертикальное напряжение от собственного веса грунта в уровне подошвы условного фундамента:

$$\sigma_{zq0} = 10 \cdot 4 + 10 \cdot 3,3 + 19,3 \cdot 5 + 19,4 \cdot 4 = 251,9 \text{ кПа}$$

Определяем дополнительное вертикальное давление в уровне подошвы условного фундамента по формуле 35 (рис. 27):

$$\sigma_{zp0} = \frac{58114,8}{15,8 \cdot 7,6 \cdot 1,2} - 251,9 = 151,4 \text{ кПа}$$

Определяем осадку (S_i) каждого элементарного слоя, который попадает в сжимаемую толщу, по формуле 39. Нижнюю границу сжимаемой толщи при $E_0 \geq 5,0$ МПа находим из условия 37.

Расчеты выполняем в табличной форме (см. табл. 11).

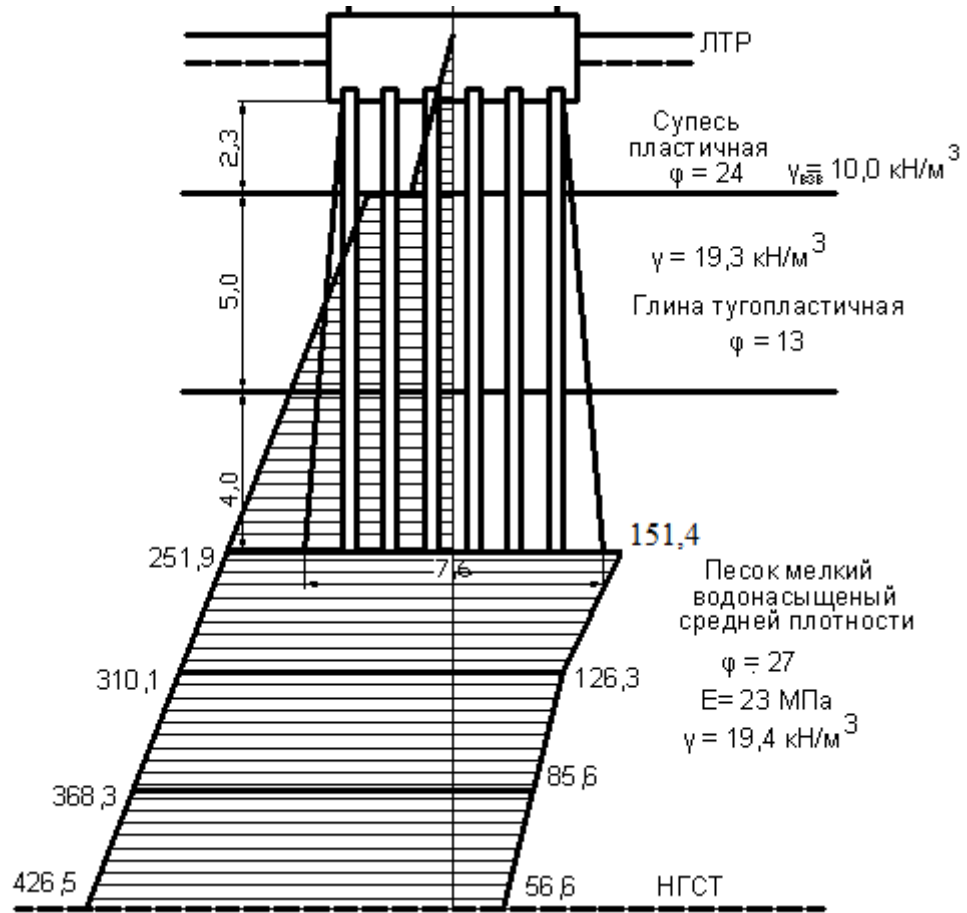


Рис. 27. Расчетная схема для определения осадки свайного фундамента

Таблица 11.

Номер элементарного слоя	0	1	2	3
Глубина подошвы элементарного слоя от подошвы условного фундамента, z_i (м)	-	3,0	6,0	9,0
Толщина слоя, h_i (м)	-	3,0	3,0	3,0
Удельный вес грунта, с учетом взвешивающего действия воды γ кН/м ³	-	19,4	19,4	19,4
Природное давление σ_{zq} на глубине z_i , кПа	251,9	310,1	368,3	426,5
Коэффициент $m = 2z/b$	-	0,78	1,57	2,36
Коэффициент α_i	-	0,87	0,59	0,39

Дополнительное давление σ_{zp} на глубине z_i , кПа	151,4	131,7	89,3	59
Среднее давление в слое, кПа	141,5	110,5	74,1	
Модуль деформации каждого слоя E_i , кПа	-	23000	23000	23000
Осадка слоя S_i , м	0,014	0,011	0,007	

Определяем расчетную величину осадки фундамента, как сумма осадок элементарных слоев в пределах сжимаемой толщи основания (ф.40):

$$S = 0,014 + 0,011 + 0,007 = 0,032\text{ м} = 3,2\text{ см}$$

$$\text{Проверяем условие (57) } S = 3,2\text{ см} < S_u = 7,5\text{ см}$$

Условие (57) выполняется.

12. Оформление курсовой работы.

При оформлении курсовой работы следует использовать учебные материалы, имеющиеся на кафедре “Основания и фундаменты”: альбом “Фундаменты опор мостов”.

Дополнительные указания (с учетом индивидуальных особенностей курсовой работы) дает преподаватель.

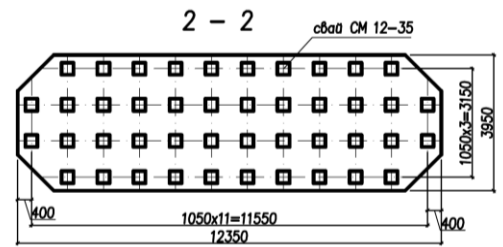
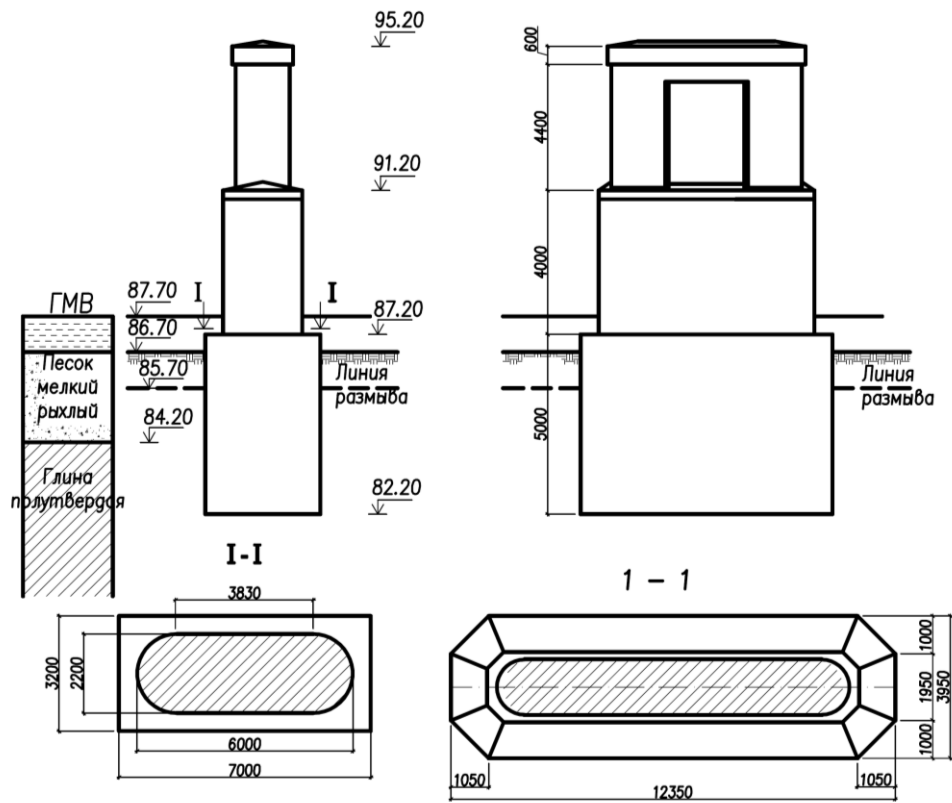
Оформленный чертёж должен соответствовать требованиям ЕСКД.

Литература:

1. Алексеев С.И. Использование программного обеспечения в курсе механики грунтов, оснований и фундаментов. <http://www.buildcalc.ru/Books/2008050301/Default.aspx>
2. Алексеев С.И. Осадки фундаментов при реконструкции зданий. <http://www.buildcalc.ru/Books/2009062801/Default.aspx>.
3. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений на железнодорожном транспорте: Методические указания. Л.: ЛИИЖТ, 1990.
4. Фундаменты мелкого заложения. Проектирование и расчет: Методические указания. Л.: ЛИИЖТ, 1984.
5. СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы. М., 1985.
6. Далматов Б. И. и др. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений. Учебное пособие. Изд. АСВ, СПб.2001.
7. Берлинов М. В., Ягупов Б. А. Примеры расчета оснований и фундаментов. М., 1986.
8. Глотов Н. М. и др. Основания и фундаменты транспортных сооружений. Под ред. Г. П. Соловьева М.: Транспорт, 1995.
9. Смирнов В. Н. Опоры балочных мостов (проектирование, строительство, ремонт и реконструкция). Учебное пособие. СПб., 2004.
10. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. М. 2011.

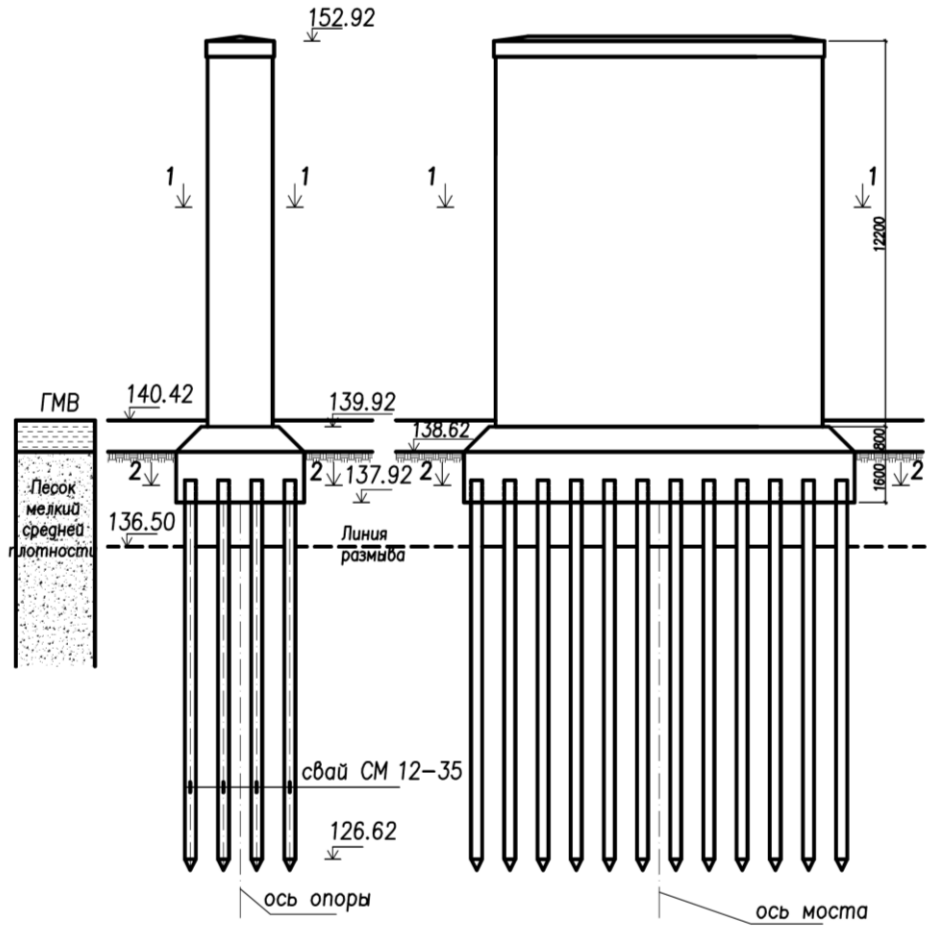
Приложение 1.

**Пример графического оформления курсовой работы.
(Лист формата А3)**



Примечание

1. На листе представлены два варианта фундаментов мостовой опоры:
 - на естественном основании;
 - свайный.
2. Фундаменты запроектированы в соответствии с выполненными расчетами (см. пояснительную записку)



(Группа)		(Наименование чертежа)		Лист №
Проектировал	Фамилия с инициалами	ПГУПС Кафедра "Основания и фундаменты"		Вариант №
Проверил				Шифр
Принял				
35	35	15	75	25

