

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

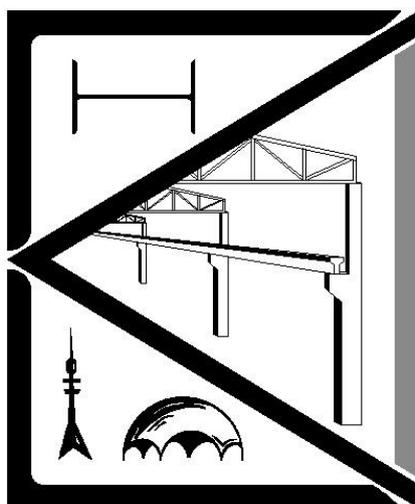
Кафедра «Строительные конструкции, здания и сооружения»

МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

*Методические указания к курсовому проекту для студентов
специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское
строительство»*

Часть 2

**Расчет и проектирование оснований и фундаментов
мелкого заложения на искусственном основании**



Могилев 2014

УДК 624.15
ББК 38.7
М 55

Рекомендовано к опубликованию
Центром менеджмента качества образовательной деятельности
ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Одобрено кафедрой «Строительные конструкции, здания и соору-
жения» «16» сентября 2014 г., протокол № 2

Составители: ст. преподаватель И. В. Гомелюк;
ассистент Е. В. Кожемякина

Рецензент А. М. Кургузиков

Изложены основные положения проектирования оснований и фун-
даментов промышленных и гражданских зданий на искусственном осно-
вании. Приведены методика и примеры расчета искусственных оснований
и фундаментов в разрезе курсового проекта.

Учебное издание

МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

Часть 2

Ответственный за выпуск	С. Д. Семенюк
Технический редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Е. С. Фитцова

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 115 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 24.01.2014.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2014



Содержание

Введение.....	4
1 Рекомендации для выбора оснований (несущего слоя).....	5
2 Проектирование фундаментов на искусственных основаниях.....	5
2.1 Общие сведения.....	5
2.2 Проектирование грунтовых (песчаных) подушек.....	7
2.3 Уплотнение грунтов тяжелыми трамбовками.....	13
2.4 Проектирование глубинного уплотнения грунтов пес- чаными и грунтовыми сваями.....	23
2.5 Проектирование глубинного уплотнения грунтов грун- товыми сваями.....	30
Список литературы.....	32

Введение

Курсовое проектирование оснований и фундаментов – составная часть дисциплины «Механика грунтов, основания и фундаменты». Цель курсового проектирования – научиться применять теоретические знания при практическом решении задач по проектированию оснований и фундаментов. В проекте рассматриваются возможные для данных геологических условий варианты фундаментов и анализ их конструктивных решений. Наиболее приемлемый тип каждого из фундаментов может быть выбран на основе технико-экономического сравнения конкурентноспособных вариантов.

Рекомендации по объему и составу курсового проекта, оценка инженерно-геологических условий площадки строительства, выбор глубины заложения фундаментов даны в [2].

1 Рекомендации для выбора оснований (несущего слоя)

Выбор основания (несущего слоя) производится в зависимости от инженерно-геологических условий площадки строительства и конструктивных особенностей проектируемого сооружения при минимальных объемах строительных работ по устройству фундаментов и сроках их выполнения, а также от возможностей местных строительных организаций.

Не рекомендуется использовать в качестве естественного основания илы, торф, рыхлые песчаные и пылевато-глинистые грунты текучей консистенции, лессовые, набухающие, заторфованные и насыпные грунты, а также грунты с коэффициентом пористости e , превышающим 0,7; 1,0 и 1,1 для супесей, суглинков и глин соответственно. Поэтому в подобных грунтах искусственно улучшают их строительные свойства. Грунты оснований должны обеспечивать надежную работу конструкций зданий и сооружений при минимальных объемах строительных работ по устройству фундаментов и сроках их выполнения. В практике строительства зданий и сооружений различного назначения иногда бывает экономически целесообразным не прорезать фундаментами значительную толщину слабых грунтов, а использовать последние в качестве оснований, предварительно укрепив их тем или иным способом с целью повышения несущей способности. Грунты укрепляют как для повышения их прочности, так и для уменьшения сжимаемости и просадочности.

При выборе основания зданий и сооружений необходимо учитывать в отдельных случаях выполнение строительных работ, связанных с инженерной подготовкой площадки строительства:

- планировочные работы;
- уплотнение грунтов;
- водопонижение или водоотлив.

Выполнение этих работ требует дополнительного времени и затрат и может влиять на выбор конструкции фундаментов.

2 Проектирование фундаментов на искусственных основаниях

2.1 Общие сведения

Искусственно улучшенные основания устраивают в тех случаях, когда естественные основания оказываются недостаточно прочными или сильно сжимаемыми и их использование является технически и экономически нецелесообразным.

В соответствии с принятой классификацией [1] все методы улучшения грунтовых оснований можно подразделить на конструктивные, механические и физико-химические.

К **конструктивным** методам улучшения работы грунтов основания относятся: устройство грунтовых подушек, применение шпунтового



ограждения, создание боковых пригрузок, армирование грунта и др.

К **механическим** методам улучшения свойств грунтов основания относятся поверхностное и глубинное уплотнение и предварительное обжатие грунтов.

Физико-химический метод включает закрепление слабых грунтов.

В курсовом проекте в качестве искусственных оснований рекомендуется принимать:

– *песчаные подушки*, если основание сложено сильно сжимаемыми и насыпными грунтами.

К сильно сжимаемым грунтам относятся водонасыщенные супеси ($e > 0,7$), суглинки ($e > 1,0$), глины ($e > 1,1$), рыхлые пески и т. д. Характерными признаками большинства этих грунтов являются:

1) высокая степень влажности $S_r \geq 0,8$;

2) большая сжимаемость $E \leq 5$ МПа в интервале давлений, свойственных для фундаментов гражданских и промышленных зданий и сооружений;

3) показатель текучести $I_L > 0,5$ (для связных грунтов);

– *поверхностное уплотнение грунтов тяжелыми трамбовками*, если основание сложено рыхлыми песчаными или насыпными грунтами;

– *глубинное уплотнение грунтов песчаными или грунтовыми сваями*, если основание сложено водонасыщенными рыхлыми мелкими или пылеватыми песками, лессовыми просадочными грунтами.

В результате технико-экономического сравнения конкурентноспособных вариантов выбирается вид основания и способ его устройства.

Область применения тех или иных методов улучшения оснований для курсового проекта приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Область применения методов искусственного улучшения оснований

Вид метода	Грунтовое условие	Примечание
1	2	3
Устройство грунтовых подушек	Слабые сильносжимаемые грунты (илы, связные грунты в текучем состоянии, торфы, заторфованные грунты). То же, а также просадочные грунты	Песчаные подушки Грунтовые подушки из связного грунта
Устройство насыпей	Слабые грунты, обводненные илы	Пригрузка насыпи отсыпкой
Поверхностное уплотнение тяжелыми трамбовками	Макропористые и просадочные грунты, рыхлые песчаные, свежеложенные связные и насыпные грунты при $S_r < 0,7$	–

Окончание таблицы 2.1

1	2	3
Поверхностное уплотнение легкими трамбовками, катками и др. механизмами и транспортными средствами	Макропористые и просадочные грунты, рыхлые песчаные, свежеуложенные связные и насыпные грунты при $S_r < 0,7$	–
Виброуплотнение	Рыхлые песчаные грунты	–
Глубинное уплотнение пробивкой скважин	Макропористые и просадочные грунты. Рыхлые пылеватые и мелкие пески, слабые сильносжимаемые заторфованные грунты	Грунтовые сваи Песчаные сваи
Глубинное уплотнение предварительным замачиванием (ПЗ)	Макропористые и просадочные грунты	–
Глубинное виброуплотнение	Рыхлые песчаные грунты	–

2.2 Проектирование грунтовых (песчаных) подушек

Грунтовые подушки под фундаменты делают из крупного и средней крупности песка, гравия или щебня, связного грунта и других материалов. К материалу подушек предъявляются требования: удобоукладываемость с заданной плотностью, малая сжимаемость, относительно высокое сопротивление сдвигу, устойчивость его при увлажнении и движении подземных вод. Применение грунтовых подушек позволяет:

- 1) уменьшить глубину заложения фундамента, в этом случае подушка воспринимает нагрузку от фундамента и передает ее на более прочный нижележащий слой;
- 2) уменьшить давление на слабый грунт путем распределения нагрузки от сооружения на большую площадь.

Кроме того, подушка препятствует выпиранию грунта из-под подошвы фундамента и уплотняет основания своим весом до возведения сооружения, благодаря чему уменьшается его осадка.

Гравийные подушки обладают большей жесткостью, чем песчаные. Песчаные подушки устраиваются следующим образом: слабый грунт выбирается на некоторую проектную глубину и заменяется песком, крупным, средней крупности, который укладывается слоями по 15...20 см или сразу в пределах всей ее высоты. Каждый слой уплотняется трамбовкой или вибрированием. Одновременно производится поливка каждого слоя водой. При отсутствии результатов опытного уплотнения допускается плотность грунта в сухом состоянии принимать не менее:

- для подушек однородных крупных и средних песков $\rho_{d,s} \geq 1,6 \text{ т/м}^3$;

– для подушек неоднородных крупных и средних песков $\rho_{d,s} \geq 1,65 \text{ т/м}^3$.

При необходимости песок доувлажняют или подсушивают до оптимальной влажности $\omega_{opt} = 0,07 \dots 0,11$ (в долях единицы) – для песка крупного и гравелистого – и $\omega_{opt} = 0,1 \dots 0,15$ – для песка мелкого и средней крупности.

В соответствии с физическими характеристиками грунта материала подушки производят классификационную оценку их свойств как основания фундамента, определяя плотность сложения и степень водонасыщения грунта, используя следующие формулы:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_{d,s}} - 1; \quad S_r = \frac{\omega_{opt} \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w}; \quad (2.1)$$

где ρ_s – плотность твердых частиц грунта (можно в расчетах принять $\rho_s = 2,66 \text{ т/м}^3$), т/м^3 ;

ρ_w – плотность воды, $\rho_w = 1,0 \text{ т/м}^3$;

$\rho_{d,s}$ – плотность грунта в сухом состоянии;

ω_{opt} – оптимальная влажность.

Выполнив оценку свойств грунта и сделав заключение, определяют нормативные значения характеристик φ_n , C_n , E по [2, таблицы 1.6 и 1.9] и значение R_0 по [2, таблицы 1.5 и 1.10].

Далее находят размеры для центрально-нагруженных и внецентренно-нагруженных фундаментов в плане в соответствии с [2, разд. 3.3]. При этом значение γ_{II} в [2, формула (3.8)] определяют следующим образом:

$$\gamma_{II} = \rho_{d,s} \cdot (1 + \omega_{opt}) \cdot g, \quad (2.2)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,8 \approx 10 \text{ м/с}^2$.

После определения размеров фундамента в плане конструируют грунтовую подушку, определяя ее высоту и размеры в плане.

Расчет грунтовой подушки в курсовом проекте сводится к определению минимально необходимой ее толщины $h_s = z$, при которой будет соблюдаться условие в уровне подошвы подушки

$$\sigma_{zp} + \sigma_{zq} \leq R_z, \quad (2.3)$$

где σ_{zp} и σ_{zq} – вертикальные напряжения в грунте на глубине z от подошвы фундамента соответственно от нагрузки на фундамент и от собственного веса грунта, кПа.

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot P_0, \quad (2.4)$$

Значения σ_{zp} , P_0 и α определяют по [2, пример 4.6]. При определении σ_{zq} используют γ_{II} (см. формулу (2.2)).



Для определения вертикального напряжения от собственного веса грунта на кровле слабого подстилающего слоя σ_{zq} используют формулу

$$\sigma_{zq} = \gamma_1 \cdot d + \gamma_{nod} \cdot h_s, \quad (2.5)$$

где d – глубина заложения фундамента;

γ_{nod} – значения удельного веса грунта, залегающего ниже подошвы фундамента (грунтовая подушка), $\gamma_{nod} = \rho \cdot g$ ($\rho = \rho_{d,s} (1 + 0,01 \cdot \omega)$; $g = 10 \text{ м/с}^2$);

h_s – глубина ниже подошвы фундамента, на которой проверяется прочность слабого подстилающего слоя грунта (толщина грунтовой подушки), $h_s = z$.

Для определения условного фундамента шириной b_z , м, расчетное сопротивление грунта R_z на кровле грунтовой подушки, вычисляют по [2, формула (3.8)]:

$$b_z = \sqrt{A_z + a^2} - a, \quad (2.6)$$

где $A_z = \frac{N}{\sigma_{zp}}$;

$a = (l - b)/2$;

N – вертикальная нагрузка на основание от фундамента;

l и b – длина и ширина фундамента соответственно, м.

Для фундамента квадратного сечения

$$b_z = \sqrt{A_z}. \quad (2.7)$$

В случае, если фундамент ленточный, длину условного фундамента можно считать равной длине проектируемого. При этом ширину условного фундамента b_z , м, допускается определять по формуле

$$b_z = \frac{N}{\sigma_{zp}}. \quad (2.8)$$

В случае, если условие (2.3) не выполняется, необходимо увеличить высоту грунтовой подушки. Если при увеличении высоты грунтовой подушки мощность слабого слоя под подошвой подушки остается незначительной, целесообразно полностью заменить слабый слой грунтовой подушки (в расчете изменится значение h_s).

Если условие (2.3) выполняется с большим запасом (больше 5 %), необходимо уменьшить высоту подушки.

При незначительной мощности слабого грунта под подошвой фундамента и залегании под ним грунта с более высокой несущей способно-



стью целесообразно (при технико-экономическом обосновании) слабый грунт полностью заменить (прорезать) грунтовой подушкой.

При устройстве подушек в сильно и неравномерно сжимаемых грунтах размеры подушек в плане зависят от сопротивляемости горизонтальному давлению грунта, расположенного по сторонам от нее. Эта сопротивляемость должна исключить возможности деформации подушки в стороны. Для определения размеров подушки задаются распределением давления в ней под углом $\alpha = 30 \dots 45^\circ$ (рисунок 2.1).

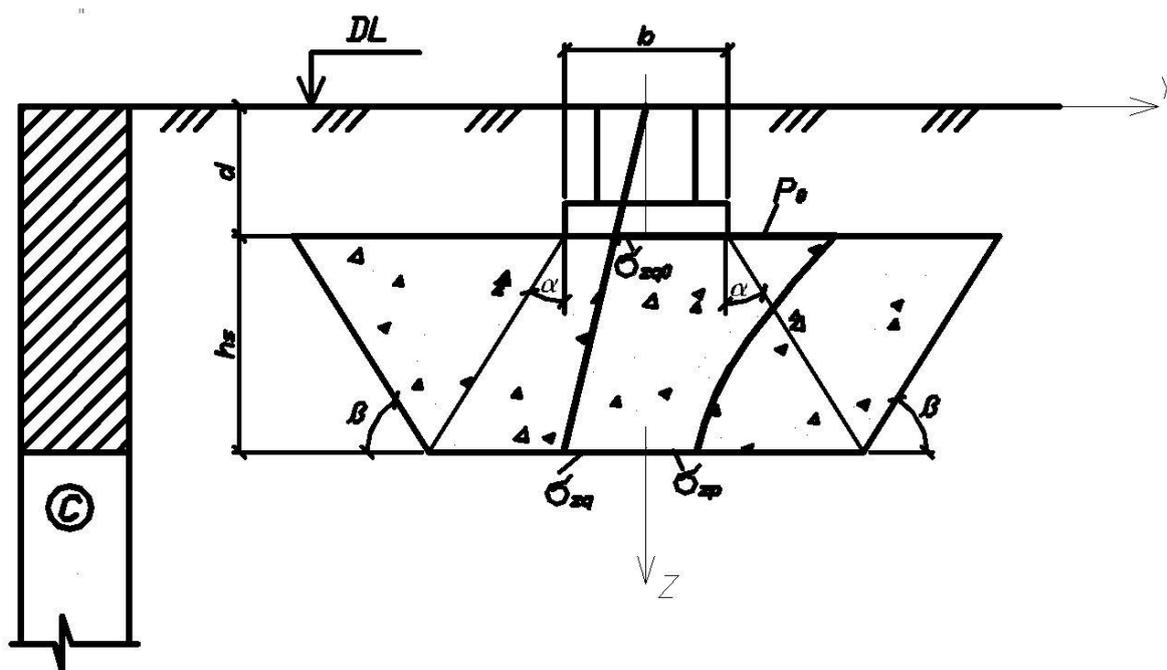


Рисунок 2.1 – Конструктивная схема для определения размеров подушки

При устройстве подушек только с целью ликвидации просадочных свойств грунтов в наиболее напряженной зоне основания фундамента ширину грунтовой подушки b_s и длину ее l_s по низу следует определять по формулам:

$$b_s = b (1 + 2 \cdot k_h); \quad (2.9)$$

$$l_s = l + 2 \cdot b \cdot k_h, \quad (2.10)$$

где b и l – ширина и длина фундамента или здания соответственно, м;
 k_h – коэффициент, учитывающий характер распределения горизонтальных деформаций в основании фундаментов при просадке грунта, принимается при:

$$P_1 = 0,15 \dots 0,2 \text{ МПа}$$

$$P_2 = 0,25 \dots 0,3 \text{ МПа}$$

$$P_3 = 0,35 \dots 0,4 \text{ МПа}$$

$$k_h = 0,3;$$

$$k_h = 0,35;$$

$$k_h = 0,4.$$

Размеры грунтовых подушек в плане назначаются в зависимости от размеров фундаментов, их конфигурации в плане, принятого давления на грунт, целевого назначения грунтовых подушек, удобства производства земляных работ и т. п.

Для экономии материала песчаной подушки котлован отрывают с предельно крутыми откосами (см. рисунок 2.1), угол наклона боковой грани подушки к горизонту рекомендуется принимать в пределах $\beta = 45 \dots 60^\circ$.

Ширина грунтовой подушки по верху в этих случаях должна быть не менее чем на 0,6 м больше ширины фундамента, а по низу не менее, чем на 0,4 м.

Расчет осадки основания фундамента, а также расчет фундамента по прочности производится в соответствии с рекомендациями, изложенными в [2, разд. 3.4].

Пример – Рассчитать и законструировать песчаную подушку под фундамент колонны среднего ряда промышленного здания с нагрузками по обрезу фундамента: $F_v = 825,9$ кН; $M_{0II} = 83,2$ кН·м; $F_h = 9,6$ кН; $P_{cp} = 224,3$ кН.

Геологические условия строительной площадки следующие:

– с поверхности до глубины 3,65 м залегает слой суглинка текуче-чепластичного со следующими характеристиками: $\gamma_1 = 18,0$ кН/м³; $\gamma_{s1} = 26,9$ кН/м³; $e_1 = 1,04$;

– ниже залегает слой песка пылеватого, средней плотности со следующими характеристиками: $\gamma_2 = 19,7$ кН/м³; $\gamma_{s2} = 26,5$ кН/м³; $e_2 = 1,04$; $\varphi = 28,8^\circ$; $C = 3,4$ кПа; $E = 15,4$ МПа.

Принимаем отметку по обрезу фундамента равной 0,15 м ниже отметки чистого пола и монолитный типовой фундамент под колонну прямоугольного сечения высотой $h = 1,5$ м, тогда глубина заложения фундамента будет равна $1,5 + 0,15 = 1,65$ м.

В качестве искусственного основания под фундаменты в связи со слабым верхним слоем принимаем песчаную подушку. С целью замены слабого грунта в основании фундамента при устройстве подушки используем крупный песок со следующими характеристиками: $\rho_s = 2,66$ т/м³; $\rho_{ds} = 1,66 > 1,6$ т/м³; $W = 10$ %.

$$\rho = \rho_{ds} \cdot (1 + 0,01 \cdot W) = 1,66 (1 + 0,01 \cdot 10) = 1,83 \text{ т/м}^3.$$

Коэффициент пористости

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_{ds}} - 1 = \frac{2,66}{1,66} - 1 = 0,6.$$

Степень влажности



$$S_r = \frac{\rho_s \cdot W}{\rho_w \cdot e} = \frac{2,66 \cdot 0,01 \cdot 10}{1,0 \cdot 0,6} = 0,44.$$

Следовательно, основанием фундамента является песок крупный, плотный, маловлажный.

Определяем нормативные значения прочностных и деформационных характеристик грунта песчаной подушки по [2, таблицы 1.5 и 1.6]; $R_0 = 600$ кПа; $\varphi_n = 39^\circ$; $C_n = 0,5$ кПа; $E_0 = 35$ МПа.

Далее находим размеры фундамента на искусственном основании в соответствии с [2, разд. 3.3] (рисунок 2.2).

Принимаем следующие размеры внецентренно-загруженного фундамента под колонну сечением $0,4 \times 0,4$ м: подколонник площадью сечения $0,9 \times 0,9$ м, глубина стакана $0,8$ м, сечение подошвы фундамента $2,1 \times 1,8 \times 0,3$ м.

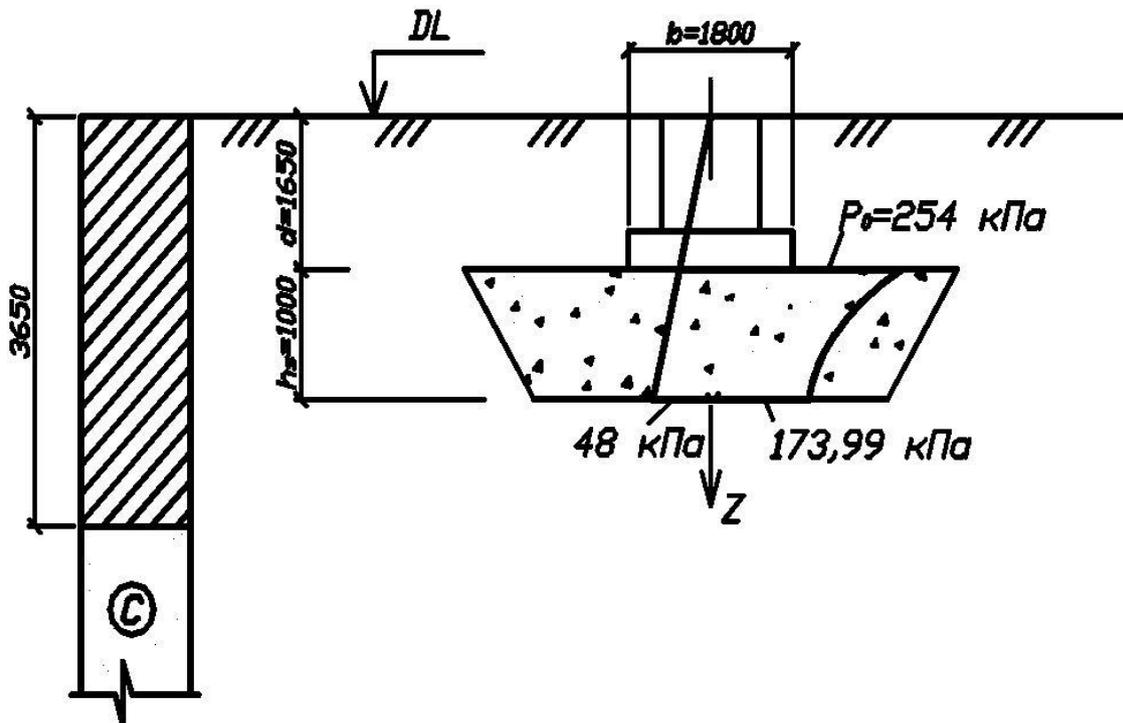


Рисунок 2.2 – Конструирование грунтовой подушки

Проверяем прочность слоя грунта, расположенного ниже подошвы фундамента (принятая высота грунтовой подушки) на глубине $Z = h_s = 1,0$ м в соответствии с [2, разд. 3.5]. Для определения σ_{zpi} на глубине Z находим P_0 .

$$P_0 = P_{cp} - \sigma_{zq0} = 224,3 - 18 \cdot 1,65 = 254 \text{ кПа.}$$

По значениям ζ и η в соответствии с [2, таблица 3.7] принимаем значение α .

$$\xi = \frac{2 \cdot Z}{b} = \frac{2 \cdot 1,0}{1,8} = 1,1; \quad \eta = \frac{l}{b} = \frac{2,1}{1,8} = 1,2; \quad \alpha = 0,685.$$

Тогда $\sigma_{zp} = \alpha \cdot P_0 = 0,685 \cdot 254 = 173,99$ кПа.

Вертикальное напряжение от собственного веса грунта на кровле подстилающего слоя

$$\sigma_{zq} = \gamma_1 \cdot d + \gamma_{nod} \cdot h_s = 18 \cdot 1,65 + 18,3 \cdot 1,0 = 48 \text{ кПа.}$$

Определяем расчетное сопротивление R_z на кровле подстилающего слоя грунта с характеристиками $\gamma_{nod} = 18$ кН/м³; $\varphi = 12^\circ$; $C = 12$ кПа.

$$R_z = \frac{\gamma_1 \cdot \gamma_2}{\kappa} \left[M_\gamma \cdot k_z \cdot b_z \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot C_{II} \right],$$

где $\gamma_1 = 1,1$; $\gamma_2 = 1$; $k_z = 1,1$; $\gamma_{II} = 18$ кН/м³; $M_\gamma = 0,23$, $M_q = 1,94$, $M_c = 4,42$ при $\varphi_n = 12^\circ$.

b_z – ширина условного фундамента, $b_z = \sqrt{A_z + a^2} - a$.

$$A_z = \frac{\Sigma N}{\sigma_{zp}} = \frac{947,7}{173,99} = 5,45 \text{ м}^2;$$

$$a = (l - b)/2 = (2,1 - 1,8)/2 = 0,15 \text{ м};$$

$$b_z = \sqrt{A_z + a^2} - a = \sqrt{5,45 + 0,15^2} - 0,15 = 2,19 \text{ м};$$

$$\gamma'_{II} = \frac{\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_s}{h_1 + h_s} = \frac{18 \cdot 1,65 + 18,3 \cdot 1,0}{1,65 + 1,0} = \frac{29,7 + 18,3}{2,65} = 18,1 \text{ кН/м}^3;$$

$$R_z = \frac{1,1 \cdot 1,0}{1,1} \left[0,23 \cdot 1 \cdot 2,19 \cdot 18,0 + 1,94 \cdot 2,65 \cdot 18,1 + 4,42 \cdot 12 \right] = 155,2 \text{ кПа.}$$

Проверяем условие:

$$\sigma_{zpi} + \sigma_{zqi} = 173,99 + 48 = 221,99 \text{ кПа} > R_z = 155,2 \text{ кПа.}$$

Поскольку условие **не выполняется**, необходимо увеличить высоту песчаной подушки и повторить расчет.

2.3 Уплотнение грунтов тяжелыми трамбовками

Уплотнение грунтов тяжелыми трамбовками применяется с целью увеличения плотности грунтов, обеспечения равномерности осадок зданий и сооружений, возводимых на сильно и неравномерно сжимаемых естественных насыпных основаниях, рыхлых песчаных грунтах, устранения

просадочных свойств макропористых глинистых грунтов, уплотнения слабых глинистых грунтов, уменьшения водопроницаемости глинистых грунтов в основаниях бассейнов, резервуаров для воды и т. д.

При проектировании уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками должны быть указаны:

- требуемая плотность грунта на нижней границе уплотняемой зоны;
- оптимальная влажность грунта и количество воды для его увлажнения;
- глубина уплотнения;
- диаметр и масса трамбовок;
- величина недобора грунта до проектной отметки;
- размеры уплотняемой площадки в плане.

Уплотнение тяжелыми трамбовками применяется при степени влажности $S_r \leq 0,6 \dots 0,7$ и плотности сухого грунта $\rho_d \leq 1,55 \text{ т/м}^3$. Крупнообломочные грунты уплотняются при любой влажности. Для уплотненного грунта значения плотности сухого грунта должна быть не менее:

- а) $1,5 \dots 1,65 \text{ т/м}^3$ – для глинистых грунтов;
- б) $1,55 \text{ т/м}^3$ – для макропористых просадочных грунтов;
- в) $1,6 \text{ т/м}^3$ – для песчаных грунтов.

Оптимальную влажность глинистых грунтов, уплотняемых трамбованием, при отсутствии данных непосредственного ее определения рекомендуется принимать как

$$w_o = w_p - (1 \dots 3),$$

где w_p – влажность на границе раскатывания.

Для песков крупных и средней крупности $w_o = 8 \dots 12 \%$, для песков мелких и пылеватых $w_o = 12 \dots 18 \%$.

Если естественная влажность ω меньше оптимальной влажности, т. е. $w < w_{onm}$, количество воды V , т/м^3 , для заливки котлована или траншеи для получения оптимальной влажности на 1 м^2 уплотняемого основания определяется по формуле

$$V = \frac{\rho_d \cdot (w_o - w) \cdot H}{100 \cdot \rho_s}, \quad (2.11)$$

где w_o – оптимальная влажность, %;

w – естественная влажность, %;

ρ_s – плотность частиц грунта;

H – глубина уплотняемой зоны.

В тех случаях, когда естественная влажность превышает оптимальную ($w > w_{onm}$), грунт перед уплотнением подсушивают так, чтобы $w = w_{onm}$.

Трамбование производится сбрасыванием трамбовки массой от 2 до 10 т и более с высоты 4...8 м и более по всей площади сооружения или в



отдельных котлованах под фундаменты. Трамбованием создается уплотненный слой толщиной от 1,5 до 6 м и более.

Уплотняемая площадь основания должна превышать площадь фундамента за счет выступающей за пределы фундамента полосы шириной не менее чем 1 м.

Для классификационной оценки грунта после его уплотнения определяют среднее значение коэффициента пористости e_{cp} и степени влажности уплотненного грунта S_r .

Среднее значение коэффициента пористости в пределах уплотняемой зоны грунта находят из выражения

$$e_{cp} = \frac{e_{\min} - e_{np}}{2}, \quad (2.12)$$

где e_{\min} – минимальное значение коэффициента пористости грунта у поверхности уплотненного слоя;

e_{np} – коэффициент пористости грунта на нижней границе уплотненного слоя.

Ориентировочно e_{\min} и e_{np} определяют из выражений:

$$e_{\min} = \frac{w_{onm} \cdot \rho_s}{\rho_w};$$

$$e_{np} = \frac{\rho_s}{\rho_{d,s}} - 1; \quad (2.13)$$

где w_{onm} – оптимальная влажность грунта;

$\rho_s, \rho_{d,s}, \rho_w$ – плотность твердых частиц грунта, сухого грунта на нижней границе уплотненного слоя ($\rho_{d,s} \geq 1,6 \text{ т/м}^3$) и плотность воды соответственно.

Степень влажности уплотненного грунта

$$S_r = \frac{w_{onm} \cdot \rho_s}{e_{cp} \cdot \rho_w}; \quad (2.14)$$

где e_{cp} – среднее значение коэффициента пористости в пределах уплотняемой зоны грунта;

w_{onm} – оптимальная влажность грунта;

ρ_s, ρ_w – плотность твердых частиц грунта и плотность воды.

Считая, что грунт после его уплотнения достиг проектной плотности, по классификационной оценке находят нормативные значения прочностных и деформационных характеристик грунта уплотненного слоя φ_n, C_n, E_n, R_o по [2, таблицы 1.5, 1.6, 1.9, 1.10].



Значения характеристик φ_n и C_n при расчете по деформациям принимаются равными их нормативным значениям, т. е. $\varphi_{II} = \varphi_n$; $C_{II} = C_n$.

Размеры фундамента в плане определяют в соответствии с [2, разд. 3.3]. Значение γ_{II} [2, формула (3.8)] получают как

$$\gamma_{II} = \rho_{d,s} \cdot (1 + w_{opt}) \cdot g, \quad (2.15)$$

где $\rho_{d,s}$ – плотность сухого грунта на нижней границе уплотненного слоя, $\rho_{d,s} \geq 1,6 \text{ т/м}^3$;

w_{opt} – оптимальная влажность грунта;

g – ускорение свободного падения, $g \approx 10 \text{ м/с}^2$.

После определения размеров фундамента в плане находят параметры уплотненного основания.

Не рекомендуется оставлять слабый слой небольшой мощности в пределах сжимаемой толщи.

Глубина уплотнения тяжелыми трамбовками рассчитывается по приближенной формуле

$$h_s = k \cdot d, \quad (2.16)$$

где d – диаметр основания трамбовки, м;

k – коэффициент, принимаемый по данным экспериментальных исследований; для песков $k = 1,55$, супесей $k = 1,45$, просадочных грунтов $k = 1,2 \dots 1,3$, глин природного сложения $k = 1$.

Диаметр трамбовки рекомендуется принимать в пределах $1,2 \dots 2,0$ м при большой мощности слабого слоя. Если же мощность слоя грунта небольшая, то, назначая высоту h_s грунта, подлежащего уплотнению, диаметр трамбовки определяют как

$$d = \frac{h_s}{k}.$$

Вес трамбовки, исходя из необходимости обеспечения удельного статического давления трамбовки на грунт 20 кПа, рассчитывают по формуле

$$G_{mp} = P \cdot A_{mp}, \quad (2.17)$$

где P – удельное статическое давление, $P = 20 \text{ кПа}$;

A_{mp} – площадь основания трамбовки, $A_{mp} = \pi \cdot d_{mp}^2 / 4$.

Ширина b_s и длина l_s уплотняемой площадки назначаются в соответствии с конфигурацией и размерами фундаментов и принимаются как

$$b_s = b + 0,5 \cdot (b - d); \quad (2.18)$$

$$l_s = l + 0,5 \cdot (b - d), \quad (2.19)$$



где b и l – ширина и длина фундамента соответственно;
 d – диаметр принимаемой трамбовки.

Во всех случаях ширина уплотняемой полосы должна быть не менее диаметра трамбовки, а за пределами фундаментов – не менее 0,2 каждой стороны.

Величина недобора грунта до проектной отметки заложения фундаментов Δh , используемая при отрыве котлована, принимается равной величине понижения трамбуемой поверхности и определяется по формуле

$$\Delta h = 1,2 \cdot h_s \cdot \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_{d,s}}\right), \quad (2.20)$$

где h_s – толщина уплотненного слоя, м;

ρ_d – плотность сухого грунта до уплотнения, т/м³;

$\rho_{d,s}$ – плотность сухого грунта после уплотнения, т/м³.

С учетом разрыхления поверхности уплотняемого грунта при трамбовании (принимается в пределах 10...15 см) назначают величину недобора грунта до проектной отметки

$$\Delta h_{\text{недоб}} = \Delta h + (10 \dots 15). \quad (2.21)$$

Тогда глубина котлована

$$h_k = h_s - \Delta h_{\text{недоб}}.$$

Далее проверяется прочность грунта подстилающего уплотненного основания из условия

$$\sigma_{zp} + \sigma_{zq} \leq R_z. \quad (2.22)$$

Проверка условия производится аналогично проверке, представленной в [2, разд. 3.5].

Расчет осадки основания, а также расчет фундамента по прочности производится в соответствии с [2, разд. 3.2–3.4].

Пример – Геологические условия строительной площадки: с поверхности на глубину до 4,7 м залегает слой песка мелкого, рыхлого со следующими характеристиками: $\rho_s = 2,65$ т/м³; $\rho = 1,64$ т/м³; $\rho_d = 1,50$ т/м³; $w = 9,3$ %. Ниже залегает слой глины твердой с $\rho_s = 2,76$ т/м³; $\rho = 1,88$ т/м³; $\rho_d = 1,57$ т/м³; $w = 20$ %; $e = 0,76$; $\varphi_{II} = 18,9^\circ$; $C_n = 53,3$ кПа; $E_0 = 20,7$ МПа.

Первый слой грунта под фундаментом – рыхлый песок, который не может служить естественным основанием, поэтому грунт необходимо уплотнять тяжелыми трамбовками.

Уплотнение грунтов тяжелыми трамбовками производится свободным сбрасыванием с помощью крана-экскаватора с высоты 5...10 м трам-



бунков диаметром 1,4...3,5 м и весом 40...150 кН.

Уплотнение грунтов трамбованием следует производить при строгом соблюдении влажностного режима, под которым понимается назначение соответствующей расчетной влажности грунта, близкой к оптимальной, величина которой принимается для песка мелкого $w_{opt} = 10...15 \% > w = 9,3 \%$. К расчету примем $w_{opt} = 15 \%$.

Проектирование уплотненного трамбованием основания ведется в определенной последовательности. Задаваясь плотностью сухого грунта после трамбования, находим расчетное сопротивление уплотненного грунта по нормам, в зависимости от которого подбираются размеры подошвы фундамента.

Плотность сложения грунта уплотненного основания должна соответствовать значению $\gamma_d \geq 16,0 \text{ кН/м}^3$. Принимаем к расчету $\gamma_d = 16,5 \text{ кН/м}^3$.

$$\gamma = \gamma_d \cdot (1 + 0,01 \cdot w) = 16,5 \cdot (1 + 0,01 \cdot 15) = 19,0 \text{ кН/м}^3.$$

Коэффициент пористости уплотненного основания

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{2,65}{16,5} - 1 = 0,6.$$

Имеем песок мелкий средней плотности.

Уплотнять грунты тяжелыми трамбовками можно при степени влажности $S_r \leq 0,6...0,7$.

Степень влажности уплотненного грунта оптимальной влажности

$$S_r = \frac{0,01 \cdot w \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w} = \frac{0,01 \cdot 15 \cdot 2,65}{0,60 \cdot 1} = 0,66.$$

Так как $0,8 > S_r = 0,66 > 0,5$, то пески влажные.

Определяем нормативные значения прочностных и деформационных характеристик грунта уплотненного слоя – песка мелкого средней плотности – при $e = 0,6$ по [2, таблицы 1.5 и 1.6] $R_0 = 200 \text{ кПа}$; $C_n = 3 \text{ кПа}$; $\varphi_n = 34^\circ$; $E = 38 \text{ МПа}$.

Рассчитываем площадь подошвы фундамента в плане в соответствии с рисунком 2.3 по формуле

$$A = \frac{N_{II}}{R_0 - \gamma_{cp} \cdot d_1} = \frac{90}{200 - 20 \cdot 1,2} = 0,5.$$

$b = A \cdot 1 \text{ п. м}$. Принимаем $b = 0,5 \text{ м}$.



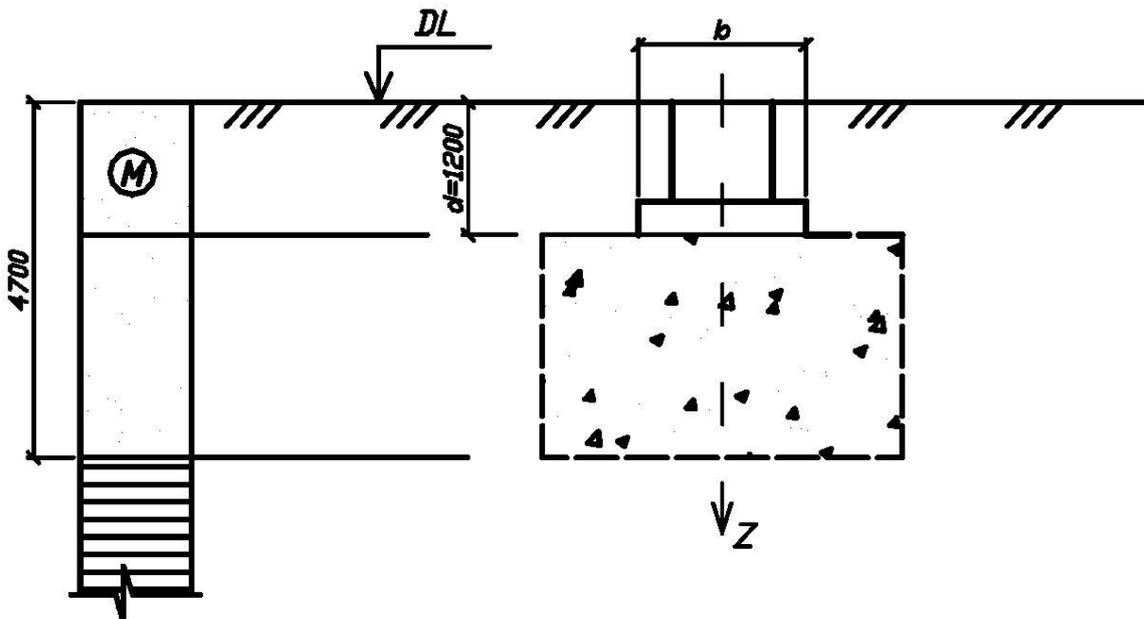


Рисунок 2.3 – К определению размеров фундамента в плане

Уточняем расчетное сопротивление грунта при $b = 0,5$ м для здания без подвала по формуле

$$R_1 = \frac{\gamma_1 \cdot \gamma_2}{k} [M_\gamma \cdot k_z \cdot \sigma_i \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II}];$$

где $\gamma_1 = 1,3$; $\gamma_2 = 1,1$; $k = 1,1$; $\gamma_{II} = 19,0$ кН/м; $M_\gamma = 1,55$; $M_q = 7,21$; $M_c = 9,21$ при $\varphi_n = 34^\circ$; $C_n = 3$ кПа.

$$R_1 = \frac{1,3 \cdot 1,1}{1,1} \cdot [1,55 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 19,0 + 7,21 \cdot 1,2 \cdot 16,4 + 9,21 \cdot 3] = 240 \text{ кПа.}$$

Уточняем A_1 при $R_1 = 240$ кПа:

$$A_1 = \frac{90}{240 - 20 \cdot 1,2} = 0,42 \text{ м}^2.$$

$b_1 = 0,42 / 1$ п. м, $b_1 = 0,42$ м. Принимаем $b_1 = 0,6$ м.

Уточняем R_2 при $b_1 = 0,6$ м:

$$R_2 = \frac{1,3 \cdot 1,1}{1,1} [1,55 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 19,0 + 7,21 \cdot 1,2 \cdot 16,4 + 9,21 \cdot 3] = 243,3 \text{ кПа.}$$

Принимаем плиту ФЛ.6.12 шириной 0,6 м, высотой 0,3 м, весом $G_{пл} = 5,15$ кН, стеновые блоки марки ФБС5 шириной 0,5 м, весом $G_{бл} = 16$ кН, тогда собственный вес конструкции фундамента (рисунок 2.4), приведенный к 1 п. м,

$$G_{\phi} = \frac{5,15 + 2 \cdot 16}{1,18} = 31,5 \text{ кН/м.}$$

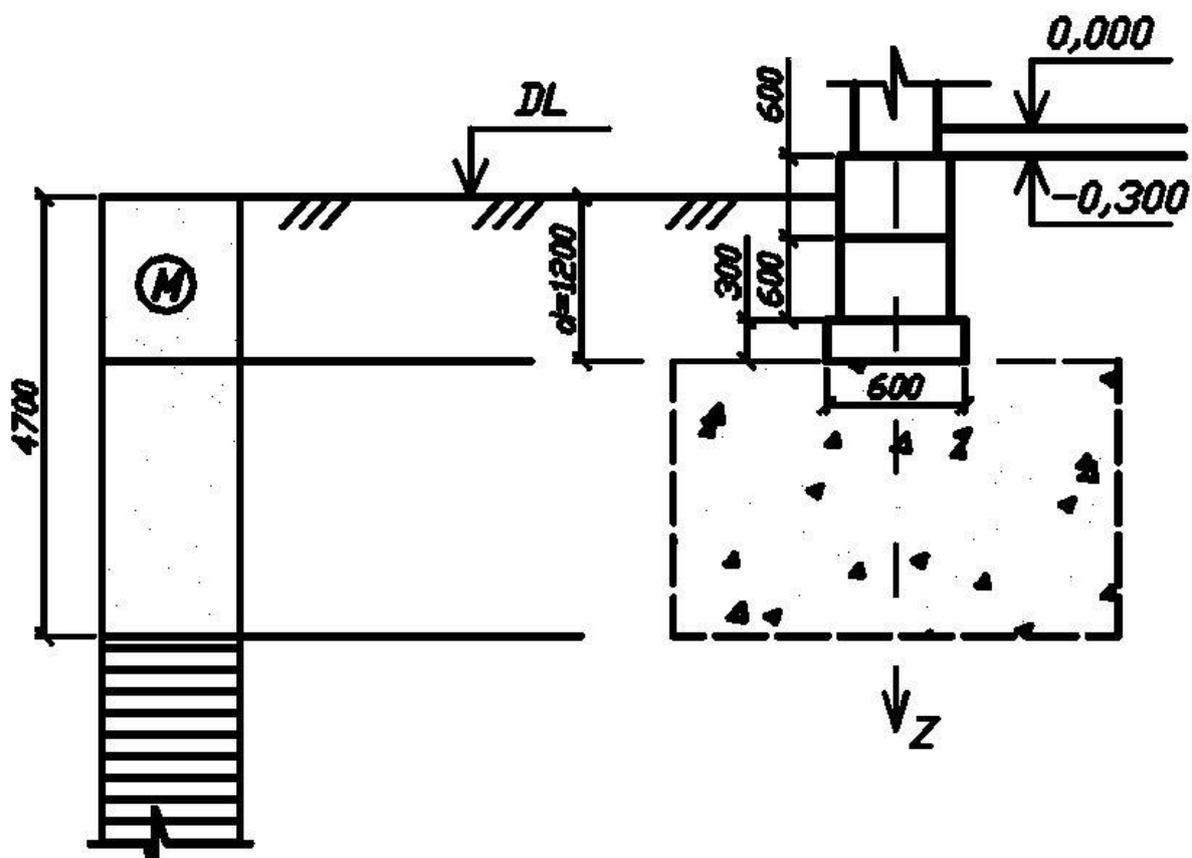


Рисунок 2.4 – Конструирование фундамента

Проверяем условие

$$P_{cp} = \frac{N_{II}}{A} + \gamma_{cp} \cdot d \leq R,$$

где $N_{II} = N_{0II} + G_{\phi} = 90 + 31,5 = 121,5$ кН.

$$P_{cp} = \frac{121,5}{1 \cdot 0,6} + 20 \cdot 1,2 = 202,5 \text{ кПа} \leq R = 243,3 \text{ кПа.}$$

$$\frac{R - P_{cp}}{R} = \frac{243,3 - 202,5}{243,3} \cdot 100 = 16,8 \text{ \%}.$$

Так как недонапряжение составляет 16,8 % – большой запас прочности, то необходимо уменьшить ширину фундамента, но типовая серия не предусматривает меньший размер железобетонной фундаментной плиты. Следовательно, размеры подошвы фундамента оставляем принятыми.

Проверяем прочность подстилающего слоя. Глубина уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками подбирается такой, чтобы полное давление на кровлю слабого грунта не превышало расчетного сопротивления на этот грунт, т. е.

$$\sigma_z = \sigma_{zpi} + \sigma_{zqi} \leq R_z.$$

Давление σ_z , передаваемое на подстилающий слой, складывается из вертикального от собственного веса грунта напряжения σ_{zqi} и вертикального дополнительного напряжения σ_{zpi} на глубине проверяемого слоя $Z = h_s$ (рисунок 2.5).

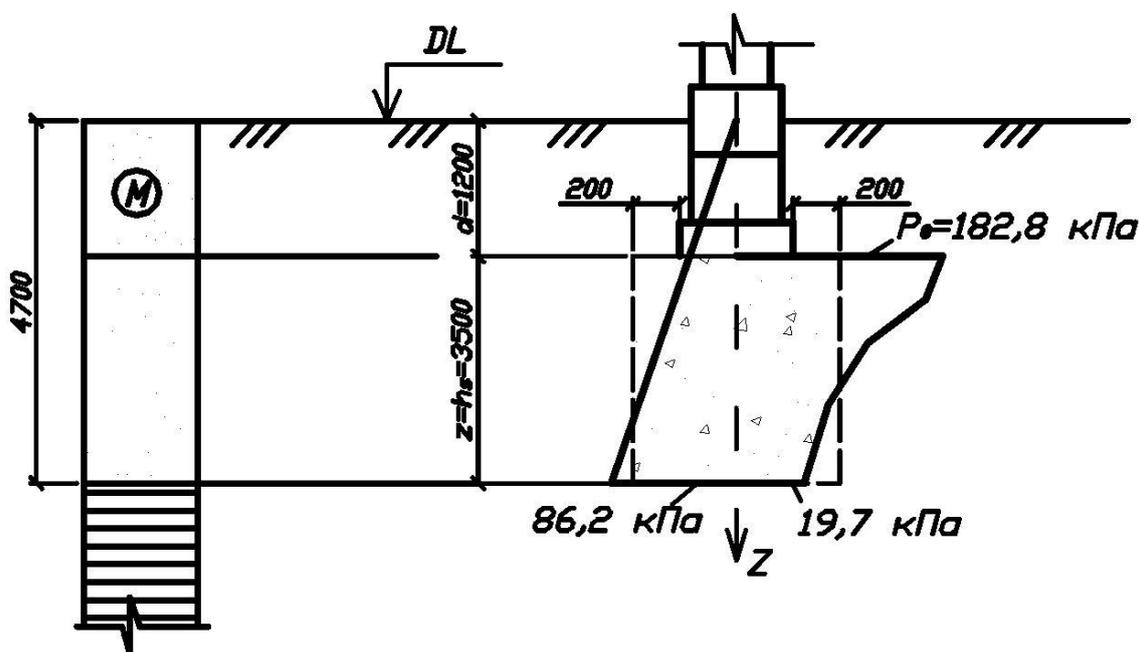


Рисунок 2.5 – Проверка прочности подстилающего слоя

Проверяем прочность подстилающего слоя грунта, расположенного на глубине $Z = h_s = 3,5$ м ниже подошвы фундамента.

Для определения σ_{zpi} на глубине Z находим P_0 .

$$P_0 = P_{cp} - \sigma_{zq0} = 202,5 - 16,4 \cdot 1,2 = 182,8 \text{ кПа.}$$

По значениям ξ в соответствие с [2, таблица 3.7] принимаем значение α . Так как $\xi = \frac{2 \cdot Z}{b} = \frac{2 \cdot 3,5}{0,6} = 11,7$, то для ленточных фундаментов принимаем $\alpha = 0,108$, тогда $\sigma_{zp} = \alpha \cdot P_0 = 0,108 \cdot 182,8 = 19,7 \text{ кПа}$.

Вертикальное напряжение от собственного веса грунта на кровле подстилающего слоя $\sigma_{zq} = \gamma_1 \cdot d + \gamma_{нод} \cdot h_s = 16,4 \cdot 1,2 + 19,0 \cdot 3,5 = 86,2 \text{ кПа}$.

Расчетное сопротивление R_z на кровле подстилающего слоя грунта с характеристиками $\gamma = 18,8 \text{ кН/м}^3$, $\varphi_n = 18,9^\circ$ и $C_n = 53,3 \text{ кПа}$ определяем как

$$R_z = \frac{\gamma_1 \cdot \gamma_2}{k} \left[M_\gamma \cdot k_z \cdot e_z \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II} \right],$$

где $\gamma_1 = 1,25$; $\gamma_2 = 1$; $k = 1,1$; $\gamma_{II} = 18,8$ кН/м³; $M_\gamma = 0,466$; $M_q = 2,864$; $M_c = 5,463$ при $\varphi_n = 18,9^\circ$; $C_n = 53,3$ кПа;

b_z – ширина условного фундамента,

$$b_z = \frac{\Sigma N}{\sigma_{zP}} = \frac{121,5}{19,7} = 6,2 \text{ м.}$$

$$\gamma'_{II} = \frac{\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_s}{h_1 + h_s} = \frac{16,4 \cdot 1,2 + 19 \cdot 3,5}{1,2 + 3,5} = \frac{19,7 + 66,5}{4,7} = 18,3 \text{ кН/м}^3.$$

$$R_z = \frac{1,25 \cdot 1,0}{1,1} \cdot [0,466 \cdot 1 \cdot 6,2 \cdot 18,8 + 2,864 \cdot 1,2 \cdot 18,3 + 5,463 \cdot 53,3] = 465,6 \text{ кПа.}$$

Проверяем условие $\sigma_{zpi} + \sigma_{zqi} = 19,7 + 86,2 = 105,9$ кПа $< R_z = 465,6$ кПа.

Условие **выполняется**, следовательно, оставляем глубину уплотнения $Z = h_s = 3,5$ м.

Определяем параметры уплотняемого основания, т. е. глубину, ширину и длину. Глубина уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками находится в пределах 2...8 м и зависит от массы трамбовки, высоты сбрасывания, диаметра трамбовки, числа ударов и характеристик грунта.

В соответствии с рисунком 2.4 назначим глубину уплотнения $h_s = 3,5$ м, тогда $d = \frac{3,5}{1,55} = 2,26$ м.

Вес трамбовки, исходя из требования обеспечения давления, передаваемого на грунт трамбовкой (примем 20 кПа), рассчитываем следующим образом:

$$G = 20 \cdot (3,14 \cdot 2,26^2) / 4 = 80,2 \text{ кН.}$$

Ширина и длина уплотняемой площади назначаются в соответствии с конфигурацией и размерами фундаментов, но во всех случаях ширина уплотняемой полосы должна быть не менее диаметра трамбовки, а за пределами фундаментов – не менее 0,2 м с каждой стороны. Назначаем ширину уплотняемого основания:

$$b_y = 0,6 + 2 \cdot 0,2 = 1,0 \text{ м.}$$

При отрыве котлована необходимо учитывать то, что после уплотнения отметка дна котлована понижается, поэтому следует отрывать котлован с недобором. Величину недобора грунта до проектной отметки за-



ложения фундаментов определим по формуле

$$\Delta h = 1,2 \cdot 3,5 \cdot (1 - 1,64 / 1,65) = 0,03 \text{ м,}$$

С учетом разрыхления поверхности уплотняемого грунта при трамбовании (принимается в пределах 10...15 см) назначаем величину недобора грунта до проектной отметки: $\Delta h = 0,03 + 0,12 = 0,15 \text{ м.}$

Тогда глубина котлована $h_k = 1,2 - 0,15 = 1,05 \text{ м.}$

2.4 Проектирование глубинного уплотнения грунтов песчаными и грунтовыми сваями

Песчаные сваи применяются для глубинного уплотнения сильно сжимаемых глинистых грунтов, рыхлых и слабых мелких и пылеватых песков, заторфованных грунтов и водонасыщенных глинистых и песчаных грунтов и не являются прочными несущими стержнями, как, например, бетонные сваи, а служат лишь средством уплотнения и улучшения грунтов основания.

При устройстве песчаных свай в грунт с помощью вибропогружателя внедряется инвентарная трубчатая свая диаметром 325...500 мм, снабженная раскрывающимся наконечником. При погружении сваи грунт вокруг сваи уплотняется, затем внутрь трубы засыпается крупный или средней крупности песок с содержанием пылеватых частиц не более 3 %, и при работающем вибраторе наконечник раскрывается, а труба постепенно извлекается из грунта. Песок высыпается в скважину, в результате чего образуется песчаная свая.

Песчаные сваи, как правило, устраивают под всем зданием и располагают на площади таким образом, чтобы их крайний ряд находился за краем фундамента на расстоянии 0,2...0,3 ширины подошвы фундамента по всему периметру. Площадь уплотняемого основания принимается равной площади, ограниченной песчаными сваями.

На уплотненном основании фундамент возводят как на естественном, порядок проектирования при этом принимается следующий.

1 По данным изысканий определяют характеристики грунта.

Производят пробное уплотнение грунта. Средняя плотность сухого грунта в уплотненном основании должна составлять $\rho_{d,s} = 1,65...1,70 \text{ т/м}^3$, после чего определяют необходимые параметры.

Коэффициент пористости уплотненного основания рассчитывают как

$$e_{\text{унл}} = \frac{\rho_s}{\rho_{d,s}} - 1 \quad (2.23)$$

где $\rho_s, \rho_{d,s}$ – плотность твердых частиц, сухого грунта после уплотнения соответственно, т/м^3 .



Среднее значение коэффициента пористости e_i принимают не менее 0,55...0,70 – для песков мелких; 0,60...0,75 – для песков пылеватых; 0,65...0,85 – для супесей, суглинков и глин; 0,85...1,1 – для илов и заторфованных грунтов.

Степень влажности S_r уплотненного грунта находят по формуле

$$S_r = \frac{w \cdot \rho_s}{e_{yml} \cdot \rho_w}, \quad (2.24)$$

где w – естественная влажность грунта, в долях единицы;

ρ_w – плотность воды, $\rho_w = 1 \text{ т/м}^3$.

Далее дают классификационную оценку уплотненного слоя грунта в соответствии с [2, разд. 1.1].

2 Определяют размеры фундамента в плане в соответствии с [2, разд. 3.3], расчетные характеристики φ_{II} , C_{II} , E , R_o – из [2, таблицы 1.5, 1.6, 1.9, 1.10].

Значение γ_{II} из [2, формула (3.8)] определяется как

$$\gamma_{II} = \rho_{d,s} \cdot (1 + w) \cdot g. \quad (2.25)$$

3 Выполняем расчет осадок основания фундамента в соответствии с рекомендациями, изложенными в [2, разд. 3.4].

4 Рассчитывают значение площади уплотненного основания:

$$A_c = 1,4 \cdot b \cdot (l + 0,4 \cdot b), \quad (2.26)$$

где b и l – ширина и длина фундамента соответственно, м.

В дальнейшем площадь уплотненного основания уточняется из условия размещения песчаных свай. Песчаные сваи в пределах уплотненной площади следует размещать в шахматном порядке – по вершинам равностороннего треугольника.

Независимо от полученного по расчету числа песчаных свай число рядов их по длине и ширине фундамента должно быть не менее трех, при этом крайние ряды свай должны выступать за границу уплотняемой площади не менее чем на $1,5 \cdot d$ – расстояние между центрами песчаных свай (рисунок 2.6).

5 Устанавливают расстояние между центрами песчаных свай из условий, чтобы грунт в процессе его уплотнения приобрел проектную плотность во всем уплотненном массиве. В этом случае

$$L = 0,95 \cdot d_c \cdot \sqrt{(1 + e) / (e - e_{yml})}, \quad (2.27)$$

где e – коэффициент пористости грунта природного сложения;

e_{yml} – коэффициент пористости грунта в уплотненном массиве;

d_c – диаметр свай, $d_c = 0,325 \dots 0,5$ м.



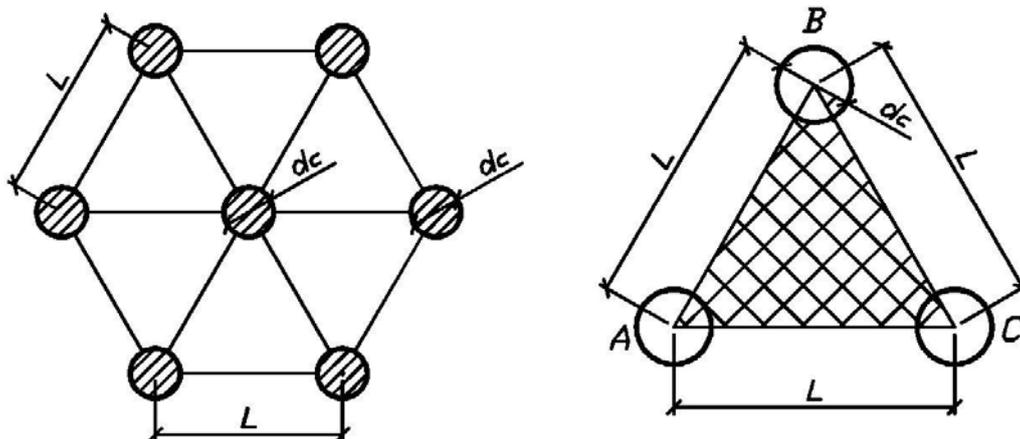


Рисунок 2.6 – Размещение свай в шахматном порядке

6 Определяют необходимое число песчаных свай $n_{св}$:

$$n_{св} = \Omega \cdot A_c / A_{св}, \quad (2.28)$$

где A_c – площадь уплотняемого основания, m^2 ;

$A_{св}$ – площадь поперечного сечения одной сваи, m^2 .

$$\Omega = (e - e_{упл}) / (1 + e), \quad (2.29)$$

где e – коэффициент пористости грунта до его уплотнения;

$e_{упл}$ – коэффициент пористости грунта после его уплотнения.

После выполнения расчетов на чертеж наносят сетку размещения песчаных свай с принятым в проекте расстоянием между ними. Затем на сетку накладывают кальку, на которой в том же масштабе вычерчена подошва фундамента с дополнительной уплотненной полосой (шириной $0,2 \dots 0,3 \cdot b$) по всему периметру. Перемещая кальку по указанной сетке, устанавливают оптимальное размещение песчаных свай в уплотненном состоянии и уточняют их число.

Эффект глубинного уплотнения достигается тогда, когда в скважину засыпают необходимую массу песка для достижения проектной плотности уплотненного грунта, которую на 1 м длины песчаной сваи определяют по формуле

$$G = A_{св} \cdot \rho_s \cdot (1 + w) / (1 + e_{упл}), \quad (2.30)$$

где ρ_s – плотность твердых частиц песчаного грунта, $\rho_s = 2,66 \text{ т/м}^3$;

w – влажность грунта, принимается в пределах $0,07 \dots 0,11$.

Для пробивки скважин и уплотнения засыпаемого в них грунта применяются станки ударно-канатного бурения ВС-1М или ВС-2 и навесное оборудование к крану-экскаватору. Станки ВС-1М имеют штангу (ударный снаряд) весом $26 \dots 32 \text{ кН}$ с наконечником диаметром $325 \dots 425 \text{ мм}$ и обеспечивают $44 \dots 52$ удара в минуту с высоты $0,9 \dots 1,1 \text{ м}$

при которых достигается пробивка скважин диаметром 0,5...0,55 м и создается уплотненная зона радиусом 0,7...0,9 м.

Пример – Определить основные параметры уплотнения песчаными сваями здания фабричного корпуса размером в осях 12×30 м, ширина фундамента $b = 2,4$ м, глубина заложения фундамента $d = 1,8$ м, планировочная отметка DL грунта 130,40 м, отметка уровня грунтовых вод $WL = 127,40$ м.

Геологические условия строительной площадки: с поверхности на глубину до 3,0 м залегает слой песка мелкого, рыхлого со следующими характеристиками: $\rho_s = 2,66$ т/м³; $\rho = 1,62$ т/м³; $e = 0,80$; $w = 10$ %. Ниже залегает слой супеси текучей на глубине до 3,4 м с $\rho_s = 2,68$ т/м³; $\rho = 1,68$ т/м³; $e = 1,0$; $w = 25,4$ %; $w_p = 17$ %; $w_L = 23,5$ % и слой песка крупного, плотного на глубине до 5,8 м с $\rho_s = 2,64$ т/м³; $\rho = 2,14$ т/м³; $e = 0,5$; $w = 22,0$ %.

Проектирование песчаных свай заключается в определении глубины погружения свай, их диаметра и количества, а также необходимого количества материала для их изготовления.

В целях улучшения свойств грунтов (для их глубинного уплотнения) в данных инженерно-геологических условиях проектируем сваи, которые доходят до кровли крупного песка с $R_0 = 600$ кПа, тогда длина песчаной сваи

$$l_{св} = 3,0 + 3,4 - d = 6,4 - 1,8 = 4,6 \text{ м.}$$

Определим среднее значение коэффициента пористости e уплотненной толщи в природном состоянии:

$$e = \frac{e_1 \cdot h_1 + e_2 \cdot h_2}{h_1 + h_2} = \frac{0,8 \cdot 1,2 + 1,0 \cdot 3,4}{1,2 + 3,4} = \frac{0,96 + 3,4}{4,6} = 0,95.$$

Основным показателем при проекте уплотнения грунтов песчаными сваями является выбранная величина коэффициента пористости уплотненного грунта.

В примере расчета для песка мелкого примем $e_{упл} = 0,7$, для супеси $e_{упл} = 0,65$, тогда среднее значение

$$e_{ср}^{упл} = \frac{0,7 \cdot 1,2 + 0,65 \cdot 3,4}{1,2 + 3,4} = 0,62.$$

Далее даем классификационную оценку уплотненного слоя грунта в соответствии с [2, разд. 1.1], т. е. определяем прочностные и деформационные характеристики для песчаного грунта уплотненного основания при $e_{упл} = 0,7$ и для уплотненного участка супеси при $e_{упл} = 0,65$.

Затем находим размеры фундамента в плане в соответствии с [2, разд. 4.3] и выполняем расчет осадок основания фундамента в соответ-



ствии с [2, разд. 3.4].

Песчаные сваи размещаем в шахматном порядке в вершинах равно-
стороннего треугольника (см. рисунок 2.6).

Рассчитаем расстояние L между центрами песчаных свай диамет-
ром $d_c = 0,5$ м:

$$L = 0,95 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{(1 + 0,95) / (0,95 - 0,62)} = 1,15 \text{ м.}$$

Принимаем $L = 1,2$ м.

Расстояние между рядами песчаных свай
 $L' = L\sqrt{3/4} = 1,2 \cdot 0,866 = 1,04$ м.

Определим ширину полосы уплотнения B' , выступающую за пре-
делы фундамента, принимаемую не менее $1,5 \cdot d_c$.

$$B' = 0,2 \cdot b = 0,2 \cdot 2,4 = 0,48 \text{ м.}$$

Принимаем $B' = 0,75$ м.

Если наружный контур фундамента имеет размеры $2,4 \times 2,4$ м, то
площадь уплотняемого основания

$$A_c = b_s \cdot L_s = (2,4 + 2 \cdot 0,75) \cdot (2,4 + 2 \cdot 0,75) = 3,9 \cdot 3,9 = 15,21 \text{ м}^2.$$

Определяем необходимое число песчаных свай:

$$n_{cs} = 0,17 \cdot 15,21 / 0,2 = 12,9 \approx 13 \text{ свай.}$$

$$\Omega = (0,95 - 0,62) / (1 + 0,95) = 0,17;$$

$$A_{cs} = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 0,2 \text{ м}^2.$$

После выполнения расчетов на чертеж наносим сетку размещения
песчаных свай с принятым в проекте расстоянием между ними. Затем на
сетку накладываем кальку, на которой в том же масштабе вычерчена по-
дошва фундамента с дополнительной уплотненной полосой (шириной
 $0,2 \dots 0,3 \cdot b$) по всему периметру. Перемещая кальку по указанной сетке,
устанавливаем оптимальное размещение песчаных свай в уплотненном со-
стоянии и уточняем их число.

Определяем число рядов песчаных свай:

$$n_p = b_s / L' + 1 = 3,9 / 1,04 + 1 = 4,75 \approx 5 \text{ рядов.}$$

Число свай в ряду

$$n_{cs} = L_s / L + 1 = 3,9 / 1,2 + 1 = 3,25 + 1 = 4,25 \approx 4 \text{ сваи.}$$



Уточняем количество свай – всего требуется свай $n_p \cdot n_{св} = 5 \cdot 4 = 20$ свай.

Определяем расстояние между осями крайних рядов грунтовых свай и крайних свай в рядах:

– расстояние между осями крайних рядов песчаных свай

$$(n_p - 1) \cdot L' = (5 - 1) \cdot 1,04 = 4,16 \text{ м};$$

– расстояние между осями крайних песчаных свай в ряду

$$L' = 1,04 \text{ м}$$

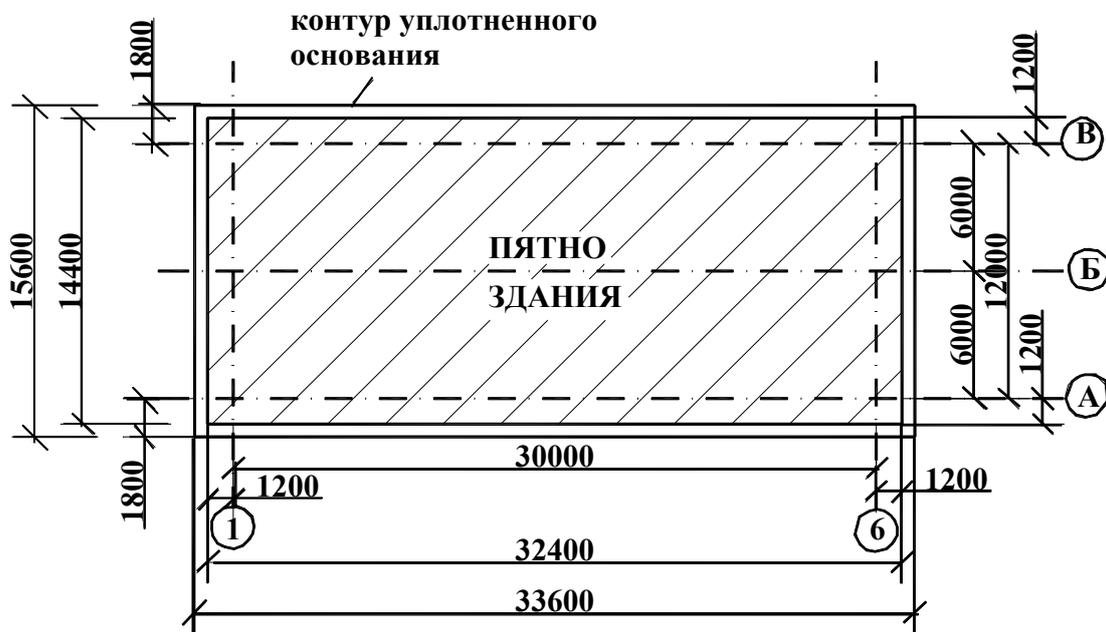


Рисунок 2.7 – План здания и уплотненного массива

Определяем необходимое число песчаных свай:

$$n_{св} = 0,17 \cdot 539,01 / 0,2 = 58 \text{ свай.}$$

$$\Omega = (0,95 - 0,62) / (1 + 0,95) = 0,17;$$

$$A_{св} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 0,2 \text{ м}^2.$$

$$n_p = 15,9 / 1,04 + 1 = 15,3 + 1 = 16,3 \approx 16 \text{ рядов};$$

$$n_{св} = 33,9 / 1,2 + 1 = 28,3 + 1 = 29,3 \approx 29 \text{ свай}.$$

Уточняем количество свай:

$$n_p \cdot n_{св} = 16 \cdot 29 = 448 \text{ свай}.$$

Расстояние между осями крайних рядов песчаных свай

$$(n_p - 1) \cdot L' = (16 - 1) \cdot 1,04 = 15,6 \text{ м}.$$

Расстояние между осями крайних песчаных свай в ряду

$$(n_{св} - 1) \cdot L = (29 - 1) \cdot 1,2 = 33,6 \text{ м}.$$

Расстояние от оси *A* и *B* до крайнего ряда песчаных свай

$$(15,6 - 12) / 2 = 1,8 \text{ м}.$$

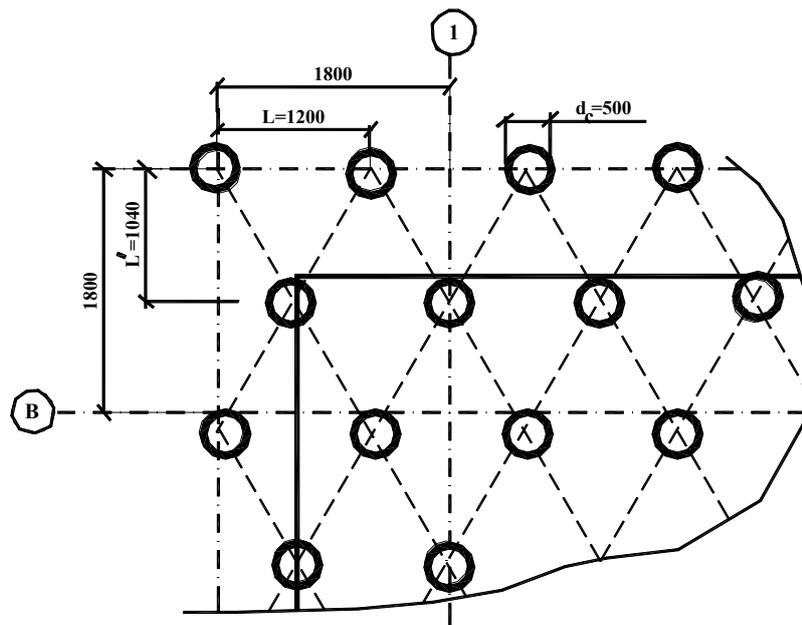


Рисунок 2.8 – Фрагмент плана песчаных свай

Эффект глубинного уплотнения обеспечивается при засыпке в скважину рассчитанного по массе количества песка, который уплотняется до достижения проектного значения плотности грунта. Определим необходимую массу песка на 1 п. м песчаной сваи:

$$G = A_{св} \cdot \rho_s (1 + w) / (1 + e_{упл}) = 0,2 \cdot 2,66 \cdot (1 + 0,1) / (1 + 0,62) = 0,36 \text{ т.}$$

Для одной песчаной сваи длиной $l_{св} = 4,6 \text{ м}$

$$G' = G \cdot l_{св} = 0,35 \cdot 4,6 = 1,7 \text{ т.}$$

Для уплотнения основания дома

$$G_{общ} = G' \cdot n_{св} = 0,36 \cdot 448 = 161,28 \text{ т.}$$

2.5 Проектирование глубинного уплотнения грунтов грунтовыми сваями

Грунтовые сваи обычно применяют для улучшения строительных свойств просадочных макропористых или насыпных неводонасыщенных глинистых грунтов. Глубина устройства – до 20 м. Уплотнение грунтовыми сваями производят в пределах всей деформируемой зоны.

Оптимальная влажность $w_{опт} = w - (1 \dots 3)$.

Обычно грунт становится непросадочным, если $\rho_d > 1,6 \text{ т/м}^3$.

Средняя плотность сухого грунта в уплотненном основании должна составлять $\rho_{d,s} = 1,65 \dots 1,70 \text{ т/м}^3$.

Коэффициент пористости уплотненного грунта [3]

$$e_c = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d. \quad (2.31)$$

Для среднего значения плотности частиц просадочных грунтов $\rho_s = 2,7 \text{ т/м}^3$ коэффициент пористости при разных значениях плотности сухого грунта представлен в таблице 2.1 [3].

Таблица 2.1 – Значение коэффициента пористости

Требуемая плотность ρ_d , т/м ³	1,65	1,70	1,75
Коэффициент пористости e_c	0,636	0,588	0,542

В зависимости от природной пористости грунта и его проектной плотности устанавливаются расстояния между центрами грунтовых свай в соответствии с таблицей 2.2. В этом случае [3]

$$l = k \cdot d, \quad (2.32)$$

где d – диаметр грунтовой сваи, $d = 0,325 \dots 0,5 \text{ м}$.



Таблица 2.2 – Значение коэффициентов k между осями грунтовых свай

ρ_d	Значение коэффициентов k между осями грунтовых свай при e					
	1,224	1,084	1,00	0,92	0,895	0,785
1,65	1,8	2,0	2,25	2,5	2,75	3,25
1,70	1,75	1,9	2,1	2,25	2,5	3,0
1,75	1,6	1,8	2,0	2,1	2,25	2,5

Ширина зоны из уплотненного грунта в плане должна выступать за контур фундамента во все его стороны не менее чем на $0,1b$, где b – ширина фундамента, при этом $0,1b \geq 0,5$ м. Тогда площадь уплотняемого основания

$$A_c = (b + 2c') \cdot (1 + 2c'), \quad (2.33)$$

где c' – ширина полосы уплотненного грунта вокруг фундамента.

Для грунтов, у которых просадки проявляются даже при незначительных давлениях, $c' = 0,2b$, а при втором типе грунтовых условий по просадочности – не менее $0,5H_s$, где H_s – величина просадочной толщи.

Необходимое количество грунта для засыпки 1 м длины сваи устанавливают по формуле (2.30), где $w = w_{omn}$. Для предварительных расчетов необходимое количество грунта на 1 м грунтовой сваи может быть принято согласно таблице 2.3 [3].

Таблица 2.3 – Необходимое количество грунта

Диаметр скважины d , м	0,4	0,45	0,50
Масса грунта, т	0,240	0,304	0,375

Так как при уплотнении массива грунта верхняя его часть, называемая «буферным слоем», разуплотняется, этот слой перед устройством фундаментов снимают или доуплотняют.

Толщина «буферного слоя»

$$H_b = k_b \cdot d_c, \quad (2.34)$$

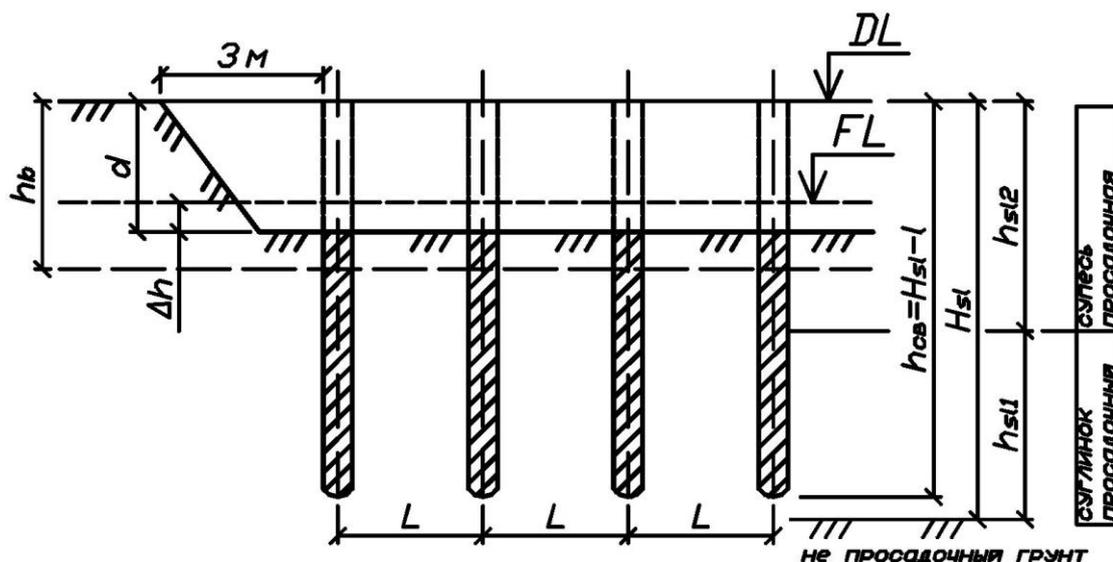
где d_c – диаметр скважин (грунтовых свай);

k_b – коэффициент пропорциональности, принимается для супесей $k_b = 4$, суглинков $k_b = 5$ и глин $k_b = 6$.

Размеры уплотняемого котлована должны превышать на 3 м в каждую сторону контуры уплотняемой площади.

После частичной срезки буферного слоя его доуплотняют тяжелыми трамбовками на глубину не менее 1,5 м (рисунок 2.9).





h_b – толщина буферного слоя; d – глубина котлована (глубина заложения); Δh – недобор грунта

Рисунок 2.9 – К расчету грунтовых свай

Величина недобора грунта до проектной отметки заложения фундаментов Δh определяется в соответствии с формулой (2.20).

Дальше расчет аналогичен расчету песчаных свай.

Список литературы

- 1 Основания и фундаменты: справочник / Г. И. Шевцов [и др.]; под ред. Г. И. Шевцова. – М. : Высш. шк., 1991. – 383 с.
- 2 Расчет и проектирование оснований и фундаментов мелкого заложения на естественном основании: метод. указания к курсовому проекту / Сост. Е. Е. Корбут, Р. З. Шутов. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2012. – 40 с.
- 3 Далматов, Б. И. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений: учеб. пособие / Б. И. Далматов. – М. : АСВ, 1999. – 340 с.
- 4 Веселов, В. А. Проектирование оснований и фундаментов / В. А. Веселов. – М. : Стройиздат, 1990. – 304 с.
- 5 СТБ 943-2007. Грунт. Классификация. – Минск : Стройтехнорм, 2007. – 20 с.
- 6 ТКП 45-5.01-67-2007. Фундаменты плитные. Правила проектирования. – Минск : Стройтехнорм, 2008. – 136 с.
- 7 ТКП 45-5.01-66-2007. Фундаменты зданий и сооружений на уплотненных песчано-гравийных подушках. Правила проектирования. – Минск : Стройтехнорм, 2007. – 71 с.
- 8 ТКП 45-5.01-107-2008. Грунтовые основания, уплотненные тяжелыми трамбовками. Правила проектирования и устройства. – Минск : Стройтехнорм, 2008. – 29 с.
- 9 П8-2000 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование и устройство защиты подземных сооружений от грунтовых вод. – Минск : Стройтехнорм, 2001. – 52 с.