

ИЧУД

**МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Кафедра оснований и фундаментов

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ,
ВОЗВОДИМЫХ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ**

**Методические указания
к курсовому проектированию**

Выпуск I

Москва — 1986

**МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Кафедра оснований и фундаментов

Утверждено
редакционно-издательским
советом института

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ,
ВОЗВОДИМЫХ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ**

Методические указания
к курсовому проектированию

по дисциплине
«МЕХАНИКА ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЯ
И ФУНДАМЕНТЫ»
для студентов строительных специальностей

Выпуск I

Москва — 1986

ВВЕДЕНИЕ

Просадочные грунты под действием собственного веса или внешней нагрузки при замачивании дают дополнительные, так называемые, просадочные деформации. Из-за них осадка фундаментов может превысить допустимую для данного сооружения. Поэтому проектирование фундаментов на просадочных грунтах требует особой осторожности.

При изысканиях особое внимание уделяют выявлению слоев просадочного грунта, определению их свойств, возможности появления просадочных деформаций основания после возведения здания или сооружения. Исходя из этого при проектировании выбирают такой способ сооружения фундаментов, при котором будут исключены недопустимо большие осадки.

В зависимости от грунтовых условий, действующих на грузок и конструктивных особенностей сооружения фундаменты возводят без устранения просадочных свойств грунта, с частичным или полным их устранением или же с прорезкой просадочного грунта и заложением подошвы фундамента в непросадочном грунте. В любом случае предусматривают меры по защите основания от избыточного увлажнения, а строительные конструкции — от вредного влияния неравномерных осадок фундаментов.

Курсовой проект состоит из 1 листа чертежей форматом 820×594 мм в карандаше и пояснительной записки, содержащей около 30 страниц, написанной чернилами с одной стороны листа. Фундамент должен быть рассчитан в двух вариантах — мелкого заложения и свайный — под наиболее ответственные или характерные элементы здания или сооружения, не менее, чем для двух его точек; прочие фундаменты принимаются без расчета.

Пояснительная записка должна содержать следующие разделы:

1. Анализ инженерно-геологических условий.
2. Анализ возможных вариантов фундаментов мелкого заложения и расчет принятого варианта фундамента.
3. Расчет свайного фундамента.

4. Техничко-экономические расчеты и выбор наиболее экономичного варианта фундамента.

5. Описание производства работ по возведению более экономичного фундамента и сопутствующие технологические расчеты.

6. Требования техники безопасности при возведении принятого варианта фундамента.

1. АНАЛИЗ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Анализ инженерно-геологических условий включает в себя:

1. Описание геологического разреза в месте возведения здания или сооружения.

2. Определение характеристик физико-механических свойств грунтов основания.

3. Выявление слоев просадочного грунта, определение характеристик просадочности этого грунта, оценка типа основания по просадочности.

4. Инженерно-строительную оценку условий в месте возведения здания или сооружения.

Описание геологического разреза следует дать в виде краткой предварительной справки о грунтовом основании в месте строительства на основании сведений, содержащихся в задании.

Определение физико-механических характеристик грунтов основания следует производить по результатам лабораторных исследований, приведенным в задании. Все данные о грунтах основания целесообразно представить в виде таблицы (см. приложение), оформленной на отдельном листе. Определения следует производить до глубины, несколько превышающей предполагаемый размер зоны деформации, или до кровли скального грунта. На геологическом разрезе приводят неполное наименование грунта на основании его визуальной оценки в полевых условиях. Для целей строительства требуется установить полное нормативное наименование грунта по СНиП. Эта задача решается так же, как и для обычных грунтов. Но для слоев просадочного грунта следует еще определить тип грунтовых условий по просадочности.

Различают основания I и II типов по просадочности. Основания I типа дают просадку в основном от нагрузки фундаментов или какой-либо другой внешней нагрузки $S_{пр}$ в пределах деформируемой зоны. Просадка от соб-

ственного веса грунта $S_{\text{пр. гр}}$ практически отсутствует или не превышает 5 см. Основания II типа по просадочности дают помимо того просадку от собственного веса грунта $S_{\text{пр. гр}}$.

Тип основания по просадочности устанавливают по результатам полевых или лабораторных исследований грунта.

При полевом исследовании производят искусственное замачивание массива просадочного грунта и контролируют осадку его поверхности. Если она не превысит 5 см, основание относят к I типу по просадочности, если превысит 5 см — ко II типу.

По результатам лабораторных испытаний для каждого из слоев просадочного грунта строят графики деформирования образцов, взятых из этих слоев, при естественной влажности и в замоченном состоянии (рис. 1). Разница в деформациях замоченного и незамоченного образцов называется относительной просадочностью $\delta_{\text{пр}}$. По этим графикам определяется нагрузка, соответствующая $\delta_{\text{пр}} = 0,01$, называемая начальным просадочным давлением $p_{\text{пр}}$.

Для определения типа грунтового основания по просадочности (рис. 2) надо построить в пределах просадочной толщи H два совмещенных графика:

график изменения $p_{\text{пр}}$ по глубине;

график изменения давления p_0 при относительной влажности $G = 0,8$.

Для этого объемный вес просадочных грунтов следует пересчитать к $G = 0,8$:

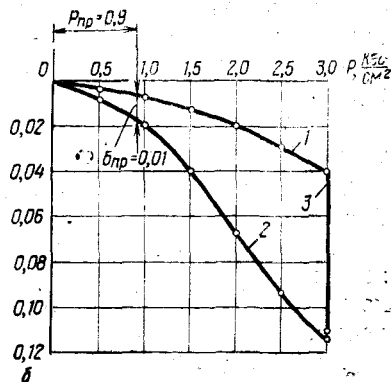


Рис. 1. Определение начального просадочного давления по результатам компрессионных испытаний для I геологического слоя:

- 1 — сжатие грунта природной влажности; 2 — то же, в водонасыщенном состоянии;
- 3 — просадка грунта

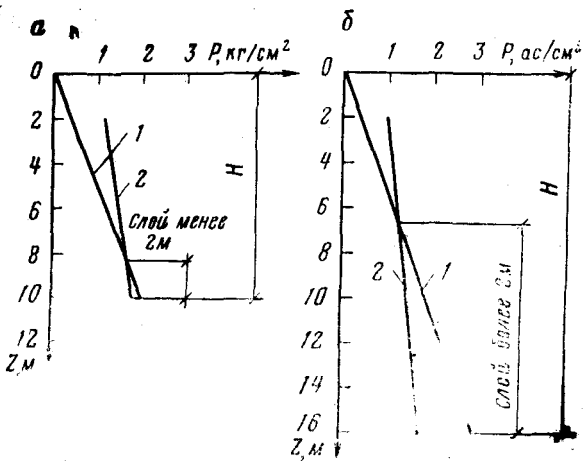


Рис. 2. Определение типа грунтовых условий:
 а — I тип; б — II тип; 1 — изменение природного давления p_n по глубине просадочной толщи H ;
 2 — изменение начального просадочного давления $p_{пр}$ по глубине H

$$\gamma_{oi} = \gamma_{ск i} + 0,8 \left(1 - \frac{\gamma_{ск i}}{\gamma_{г i}} \right).$$

Если в пределах того или иного расчетного слоя имеется единственное значение $p_{пр}$, оно берется постоянным по глубине этого слоя; если в слое имеется несколько значений $p_{пр}$, то по ним строится ломаный график в пределах этого слоя.

Сопоставление графиков позволяет установить тип грунтового основания по просадочности:

к I типу по просадочности относят основания, у которых $p_n < p_{пр}$ в пределах всей просадочной толщи или $p_n > p_{пр}$ в пределах слоя толщиной не более 2 м по глубине (см. рис. 2, а).

В таком основании просадка от действия собственного веса грунта уже произошла, и просадка возможна, в основном, от нагрузки фундамента, т. е. от дополнительного давления.

к II типу по просадочности относят основания, у которых $p_n > p_{пр}$ в слое более 2 м (см. рис. 2, б). В таком

основании возможны просадки не только от дополнительного давления, но и от собственного веса грунта.

Инженерно-строительную оценку условий в месте возведения здания или сооружения производят на основании всей совокупности сведений о грунтовых условиях, глубине расположения грунтовых вод, географическом положении и климате в районе строительства, особенностях конструкции здания или сооружения, в основном о его чувствительности к неравномерным осадкам фундаментов.

В результате анализа кратко формулируется общая оценка условий и указываются возможные способы возведения фундаментов. Если окажется целесообразным осуществить уплотнение просадочного грунта, таблицу приложения желательнее дополнить свойствами этого грунта в уплотненном состоянии.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

2.1. Существует несколько способов проектирования и возведения фундаментов мелкого заложения на просадочных грунтах в зависимости от грунтовых условий, действующих нагрузок и конструктивных особенностей сооружения:

без предварительного уплотнения просадочного основания:

- с предварительным уплотнением тяжелыми трамбовками;
- с заменой просадочного грунта на подушку из непросадочного грунта;

- с предварительным уплотнением основания грунтовыми сваями;

прорезка просадочных грунтов основания забивными или набивными сваями и др.

Перечисленные способы возведения фундаментов на просадочных грунтах и условия, при которых целесообразен тот или иной из них, детально описаны в п. 3, 4. Указанные способы в ряде случаев сочетают с водозащитными и конструктивными мероприятиями.

Определение минимальной глубины заложения подошвы фундамента выполняется исходя из рекомендаций, справедливых для проектирования массивных фундаментов на обычных грунтах. Размеры фундамента в плане принимают из сопоставления действующих и допустимых давлений по подошве фундамента с последующим контролем по осадкам.

2.2. Расчет фундаментов на просадочных грунтах по допустимым давлениям. Размеры фундаментов должны быть назначены такими, чтобы выполнялось условие

$$p = \frac{N + Q_{\phi}}{F_{\phi}} \leq R, \quad (1)$$

где p — расчетное давление на грунт, действующее по подошве фундамента;

N — расчетная нагрузка на основание от надфундаментной части сооружения;

Q_{ϕ} — расчетная нагрузка на основание от веса фундамента и грунта на его обрезах;

F_{ϕ} — площадь подошвы фундамента;

R — расчетное сопротивление, определяемое в зависимости от стадии проектирования и условий работы основания.

На стадии предварительного проектирования используют так называемое условное расчетное давление R_0 , определяемое по СНиП 2.02.01—83, прил. 3.

При назначении окончательных размеров фундамента по допустимым давлениям расчетное сопротивление R определяется следующим образом. При отсутствии возможности замачивания (допускается лишь медленное повышение влажности просадочного грунта основания, вызываемое нарушением природных условий испарения грунтовой влаги вследствие застройки и асфальтирования территории и постепенного накопления влаги при инфильтрации в грунт поверхностных вод) R определяется по формуле (7) СНиП 2.02.01—83. При этом значения коэффициентов γ_{c1} , γ_{c2} принимаются по табл. 3 как для глинистых грунтов с консистенцией $I_L = 0,5$, а коэффициент k — по параграфу 2.41.

Расчетное давление на основание R при возможном замачивании просадочных грунтов устанавливается с учетом следующих требований:

а) при устранении возможности просадки оснований от нагрузки фундамента и надфундаментной части здания или сооружения путем снижения давления на грунт значение R не должно превышать величины начального просадочного давления p_{st} ;

б) при обеспечении прочности зданий и сооружений применением комплекса водозащитных и конструктивных ме-

роприятий, назначаемых по расчету, значение R определяется по формуле (7) СНиП 2.02.01—83 с использованием расчетных значений характеристик φ_{II} и c_{II} , полученных для просадочных грунтов в водонасыщенном состоянии после их просадки;

в) при уплотнении и закреплении просадочных грунтов различными методами значение R определяется по формуле (7) с использованием расчетных значений характеристик φ_{II} и c_{II} полученных для уплотненных и закрепленных до заданной плотности и прочности грунтов в водонасыщенном состоянии.

При устранении просадочных свойств в части толщи грунтов необходимо, чтобы суммарное давление на кровлю подстилающего неуплотненного или незакрепленного слоя не превышало начального просадочного давления p_{Sl} этого слоя, т. е.

$$p_{Sl} \geq p_{\delta} + p_0.$$

Расчетное давление R на уплотненный или закрепленный грунт по условию устранения просадки подстилающего слоя определяется по формуле:

$$R_n = \frac{p_{Sl} - p_{\delta z} + \alpha p_{\delta}}{\alpha},$$

где $p_{\delta z}$ — природное давление на кровлю этого слоя;

p_{δ} — природное давление на отметке заложения фундамента;

α — коэффициент уменьшения дополнительного давления на кровле неуплотненного или незакрепленного слоя, определяемый по табл. 1 приложения 2 СНиП 2.02.01—83.

Сопоставляя значения R и R_n , для расчетов принимают минимальное.

2.3. Расчет оснований на просадочных грунтах по деформациям. Расчет оснований на просадочных грунтах проводится исходя из условия

$$S + S_{np} \leq S_n,$$

где S — величина осадки фундамента, определяемая как для обычных непросадочных грунтов;

S_{np} — величина осадки фундамента, вызванная просадкой грунта;

$S_{п}$ — предельно допустимая величина осадки фундамента данного здания или сооружения.

Просадки грунтов должны определяться расчетом, учитывающим тип грунтовых условий, вид возможного замачивания и другие факторы.

На площадках с I типом грунтовых условий по просадочности определяются только просадки от совместного действия нагрузки фундаментов и собственного веса грунта $S_{пр. доп}$ в пределах деформируемой зоны $h_{деф}$, а на площадках со II типом грунтовых условий, кроме названных, определяются еще и просадки только от собственного веса грунта $S_{пр. быт}$, расположенного ниже этой зоны до кровли непросадочного грунта. Глубина деформируемой зоны $h_{деф}$ равна расстоянию от подошвы фундамента до глубины, на которой суммарные вертикальные напряжения от нагрузки фундамента p_0 и собственного веса грунта p_{δ} равны начальному просадочному давлению p_{sl} (рис. 3). Таким образом, для I типа грунтовых условий

$$S_{пр} = S_{пр. доп},$$

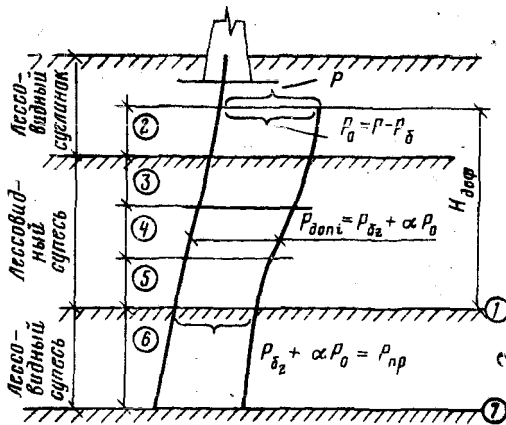


Рис. 3. Определение просадок грунтового основания:

- 1 — нижняя граница деформируемой зоны; 2, 3, 4, 5 — слои, на которые разбита деформируемая зона; 6 — толщина грунта, в которой необходимо учесть просадки от собственного веса грунта, если основание относится ко II типу; 7 — кровля непросадочного грунта

а для II типа грунтовых условий

$$S_{\text{пр}} = S_{\text{пр. доп}} + S_{\text{пр. быт.}}$$

2.4. Определение просадки фундамента от дополнительной нагрузки. При расчете просадки грунта от суммарной нагрузки $(p_z + \alpha p_0)$ просадочная толща разбивается на отдельные слои h_i в соответствии с литологическим разрезом и горизонтами определения $\delta_{\text{пр. } i}$. Толщина каждого слоя должна быть не более 2 м, изменение суммарного давления в пределах каждого слоя не должно превышать 1 кгс/см², а число слоев должно быть не менее двух. Для середины каждого из расчетных слоев находится $p_{\text{доп. } i}$, которое определяется как сумма дополнительного давления от нагрузки фундамента и собственного веса грунта (см. рис. 3), т. е.

$$p_{\text{доп. } i} = p_{\delta z} + \alpha p_0,$$

где $p_{\delta z}$ — давление от собственного веса грунта;
 α — коэффициент, учитывающий изменение дополнительного давления в грунте, определяемый по табл. 1 прил. 2 СНиП 2.02.01—83;
 p_0 — дополнительное вертикальное давление на грунт по подошве фундамента.

По графикам компрессионного испытания грунта (см. рис. 1), для каждого $p_{\text{доп. } i}$ в пределах $h_{\text{деф}}$ находится соответствующее $\delta_{\text{пр. } i}$. Просадка каждого i -го слоя находится по формуле:

$$S_{\text{пр. } i} = \delta_{\text{пр. } i} \cdot l_i \cdot m,$$

где l_i — толщина i -го расчетного слоя;
 m — коэффициент условий работы основания, принимаемый для фундаментов шириной от 12 м и более равным 1; для ленточных фундаментов шириной до 3 м и прямоугольных шириной 5 м включительно

$$m = 0,5 + 1,5 \frac{p - p_{Sl}}{p_e},$$

где p — среднее давление по подошве фундамента;
 p_{Sl} — начальное просадочное давление;
 p_e — давление, равное 1 кгс/см².

Окончательная просадка от дополнительного давления

$$S_{\text{пр. доп}} = \sum S_{\text{пр. } i}$$

Суммирование производить только для тех слоев, где $\delta_{пр} \geq 0,01$ и в пределах $h_{деф}$. Деформации могут расчетом не проверяться для грунтовых условий I типа по просадочно-сти, если среднее давление на основание под фундаментом всего здания не превышает начального просадочного давления p_{SI} по всей $h_{деф}$.

2.5. Определение просадки основания от собственного веса грунта. Для середины каждого из расчетных слоев, расположенных ниже деформируемой зоны, находится значение $p_{\delta, i}$ и по графикам компрессионных испытаний (см. рис. 1) определяется соответствующее ему значение $\delta_{пр, i}$. Просадка каждого i -го слоя (где $p_{\delta, i} > p_{SI}$) находится по формуле:

$$S_{пр, \delta} = \delta_{пр, i} \cdot l_i.$$

Окончательная просадка от собственного веса грунта

$$S_{пр, \text{быт}} = \sum S_{пр, \delta i}.$$

2.6. Определение предельно допустимой величины деформации оснований. Предельно допустимую величину деформации S_n на просадочных грунтах с учетом возможности одновременного сочетания наиболее неблагоприятных условий по осадке и просадке допускается принимать равной:

$$S_n = S'_n \cdot m_{пр},$$

где S'_n — предельно допустимая величина деформации основания для случаев неравномерной осадки фундаментов на обычных непросадочных грунтах, определяемая по СНиП;

$m_{пр}$ — коэффициент условий работы, учитывающий вероятность одновременного сочетания наиболее неблагоприятных условий по просадке и осадке и принимаемый равным:

$$m_{пр} = 1, \quad S_{пр} < 2S$$

если

$$m_{пр} = 1,25, \quad S_{пр} > 2S.$$

3. МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ВОЗВЕДЕНИЯ МАССИВНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

3.1. Проектирование фундаментов без предварительного уплотнения просадочного грунта. Метод приемлем при основаниях I-го типа по просадочности только в том случае, если в уровне подошвы фундамента начальное просадочное

давление p_{Sl} существенно больше бытового давления p_6 (рассчитанного при $G = 0,8$) на отметке заложения фундамента.

Порядок проектирования.

1. Задавшись глубиной заложения h , подобрать сборный или наметить монолитный фундамент таких размеров, при которых давление по его подошве p_Φ примерно равно (но не более) величине p_{Sl} :

$$p_\Phi = \frac{\Sigma p + Q_\Phi}{F} \leq p_{Sl}.$$

2. Построить эпюры распределения по глубине: природного давления грунта p'_{bz} при $G = 0,8$; дополнительного давления p_{oz} от нагрузки:

$$p_{oz} = (p_\Phi - p'_{bz}) \cdot \alpha;$$

суммарного давления $p'_{bz} + p_{oz}$.

3. Сопоставить в пределах всей просадочной толщи величину суммарного давления ($p'_{bz} + p_{oz}$) с величиной начального просадочного давления p_{Sl} .

Если $(p'_{bz} + p_{oz}) < p_{Sl}$ во всей просадочной толще или же превышает его в слое толщиной не более 2 м, то размеры фундамента приемлемы. Если это условие не выполняется, то размеры фундамента следует увеличить и тем самым понизить давление по подошве фундамента до такого значения, при котором выполняется указанное выше условие.

4. После определения размеров фундамента следует рассчитать его осадку S и просадку при замачивании S_{np} и их сумму сопоставить с предельной осадкой S_n , допустимой для данного фундамента. Если условие $(S + S_{np}) \leq S_n$ выполняется, расчет фундамента закончен. Далее следует сопоставить этот фундамент по стоимости с другими возможными вариантами возведения этого фундамента. Если условие $(S + S_{np}) \leq S_n$ не выполняется, то следует или увеличить размеры фундамента и добиться выполнения этого условия, или предусмотреть меры по уплотнению, закреплению или замене просадочного грунта.

3.2. Проектирование фундаментов с предварительным уплотнением грунта тяжелыми трамбовками. Данный метод приемлем, когда требуется уплотнить слой толщиной до 3,2 м. Уплотнение осуществляется с поверхности дна котлована

пугем свободного сбрасывания на уплотняемую площадь трамбовки весом до 7 т и диаметром до 1,8 м с высоты 4—8 м. Глубина уплотнения приблизительно принимается равной:

$$h_{\text{упл.}} = \kappa_y \cdot d,$$

где d — диаметр трамбовки, м;

κ_y — коэффициент пропорциональности, принимается равным 1,5 для глин и 1,8 — для супесей и суглинков.

Глубина котлована при вскрытии должна быть меньше проектной глубины заложения фундамента на величину

$$\Delta h = 1,2 h_{\text{упл.}} \left(1 - \frac{\gamma_{\text{ск.}}}{\gamma_{\text{ск. упл}}} \right),$$

где $\gamma_{\text{ск}}$ — объемный вес скелета грунта в естественном состоянии;

$\gamma_{\text{ск.упл}}$ — среднее значение объемного веса скелета грунта в пределах уплотненного слоя (1,65 — 1,7 тс/м³).

Ширина B и длина L уплотняемой площади:

$$B = b + 0,5(b - d); L = l + 0,5(b - d),$$

где b и l — ширина и длина фундамента; при ленточном фундаменте $l = l$ стены, м.

Суммарная деформация основания, уплотненного тяжелыми трамбовками, принимается следующей:

$S_{\Sigma} = S + S_{\text{пр. доп.}}$ — в грунтах I-го типа по просадочности

$S_{\Sigma} = S + S_{\text{пр. доп.}} + S_{\text{пр. быт}}$ — в грунтах II-го типа по просадочности и рассчитывается в соответствии с п. 2.

Модуль деформации грунта в пределах $h_{\text{упл}}$ принимается как для уплотненного грунта, а ниже — как для грунта в естественном состоянии. Если $S < S_n$, то размеры фундамента приемлемы и принятая глубина уплотнения $h_{\text{упл}}$ достаточна. Если $S > S_n$, размеры фундамента или глубину уплотнения следует увеличить, а расчеты повторить. В особых случаях, когда требуется фундамент особенно больших размеров, а также тогда, когда определяющей является просадка от собственного веса грунта, можно применить двухслойное уплотнение основания. Для этого следует извлечь грунт ниже дна котлована, уплотнить подстилающий грунт, засыпать извлеченный грунт и его уплотнить. Все расчеты

повторить, задаваясь для каждого из слоев своим $h_{упл.}$, и для каждого слоя подсчитать величину недобора грунта Δh .

3.3. Проектирование фундаментов на грунтовых подушках. Метод используется в тех случаях, когда не может быть применено уплотнение тяжелыми трамбовками, в частности:

при степени влажности просадочных грунтов в основании фундаментов $G > 0,7$;

при необходимости уплотнения слоя толщиной более $3 \div 3,5$ м;

при наличии поблизости существующих зданий и сооружений.

При использовании этого метода просадочный грунт в пределах всей или части деформируемой зоны извлекают и вместо него укладывают местный глинистый грунт с послойным уплотнением. Может быть использован также извлеченный просадочный грунт. Дренирующие материалы (песок, шлак) допускается применять только на грунтах I-го типа по просадочности.

Размеры и заглубление фундаментов устанавливаются так же, как на непросадочных грунтах. При этом следует использовать характеристики уплотненного водонасыщенного грунта.

Толщина грунтовой подушки $h_{под.}$ назначается такой, чтобы суммарная деформация основания (см. п. 3.2) не превысила предельную осадку, допустимую для данного сооружения. Определение производится методом попыток. Для первой попытки можно, например, принять $h_{под.} = 2b$, где b — ширина фундамента.

Уплотнение грунта производится трамбованием или укаткой. В первом случае толщина слоев определяется по п. 4.2, во втором принимается равной $0,3 \div 0,5$ м. После уплотнения объемный вес грунта должен быть равен $1,6 \div 1,7$ тс/м³.

Размеры грунтовой подушки в плане понизу допускаются определять по формулам:

$$b_{под.} = b (1 + 2\kappa_n); \quad a_{под.} = a + 2b\kappa_n,$$

где b и a — ширина и длина фундамента или здания, м;

κ_n — коэффициент: $\kappa_n = 0,3$ при $p_\phi = 15 \div 20$ т/м²,

$\kappa_n = 0,35$ при $p_\phi = 25 \div 30$ т/м² и $\kappa_n = 0,4$ при $p_\phi > 35$ т/м²;

p_ϕ — давление по подошве фундамента.

Ширина грунтовой подушки понизу в этих случаях должна быть не менее чем на 0,4 м больше ширины фундамента, а поверху — не менее чем на 0,6 м.

Размеры котлованов должны назначаться с учетом размеров и технологии работы машин, намеченных к использованию. При близком расположении отдельных котлованов, а в ряде случаев из технологических соображений отдельные котлованы можно объединить в единый котлован под все сооружение или его часть.

3.4. Проектирование фундаментов с предварительным уплотнением грунтовыми сваями. Метод целесообразно применять при толще слоя просадочного грунта от 10 до 24 м, при отсутствии слоев и прослоек плотных грунтов, песков, маловлажных супесей, линз переувлажненного грунта со степенью влажности $G > 0,75$.

Уплотнение грунтовыми сваями осуществляется:

на площадках с I типом грунтовых условий по просадочности — в пределах всей глубины деформируемой зоны $h_{\text{деф}}$, а при $h_{\text{деф}} > H$ — в пределах всей просадочной толщины;

на площадках со II типом грунтовых условий по просадочности — на всю величину просадочной толщины.

Расчеты фундамента на предварительно уплотненном грунте ведутся так же, как и на грунтах естественного сложения, но с использованием характеристик уплотненного грунта; при этом в формуле (7) СНиП 2.02.01—83 следует принимать коэффициенты $\gamma_{\text{с1}} = 1,1$, $\gamma_{\text{с2}} = 1$ и $\kappa_n = 1$.

Грунтовые сваи — это скважины, пробитые в просадочном грунте и заполненные с трамбованием тем же грунтом Пробивку производят пробойником — тяжелой штангой с каплевидным заостренным наконечником диаметром, как правило, $d = 0,5$ м с помощью станка ударно-канатного бурения. После пробивки скважину постепенно заполняют тем же грунтом с прослойным трамбованием пробойником. При пробивке вокруг скважины образуется уплотненная зона. При расположении скважин на определенном расстоянии l друг от друга уплотненные зоны вокруг отдельных свай смыкаются и образуют единый массив уплотненного грунта. При пробивке скважин из-за частичного выпора грунта верхняя часть грунтового массива, называемая буферным слоем, разуплотняется. Перед закладкой фундаментов этот слой снимают или доуплотняют.

Толщина буферного слоя

$$h_6 = \kappa_6 \cdot d,$$

где κ_6 — коэффициент, принимаемый равным $\kappa_6 = 4$ для супесей, $\kappa_6 = 5$ для суглинков, $\kappa_6 = 6$ для глин;

d — диаметр грунтовой сваи, м.

Таким образом, толщина буферного слоя $h_6 = 2,0 \div 3,0$ м, в частности, в просадочных суглинках $h_6 = 2,5$ м. Поэтому пробивку скважин и их заполнение обычно производят с поверхности грунта до вскрытия котлована. Исключение составляют фундаменты, заглубление которых превышает h_6 . В этом случае целесообразно до изготовления свай вскрыть предварительный котлован глубиной $(h - h_6)$ м, где h — глубина заложения фундамента. При пробивке скважин уплотнение распространяется на 1 м ниже забоя скважины. Поэтому пробивку прекращают за 1 м до нижней границы уплотняемой толщи. Тогда длина грунтовых свай равна расстоянию от поверхности грунта или от дна предварительного котлована до этой границы.

За пределами фундамента с каждой его стороны должна быть полоса уплотненного грунта шириной b' :

в основаниях I-го типа по просадочности $b' \geq 0,2b$, но не менее 0,8 м, а для отдельно стоящих сооружений с высоким расположением центра тяжести (водонапорные башни, дымовые трубы и т. п.) — не менее 0,3b;

в основаниях II-го типа по просадочности $b' \geq 0,2 H_{\text{прос}}$, где b — меньшая сторона, или диаметр круглого фундамента, м; $H_{\text{прос}}$ — глубина просадочной толщи, м.

Тогда длина L_{min} и ширина B_{min} уплотненного массива под отдельный фундамент должны быть:

$$L_{\text{min}} = a + 2b'; \quad B_{\text{min}} = a + 2b'.$$

При этом ширина уплотняемой площади на грунтах с I типом по просадочности должна быть не менее $0,2 H_y$, а со II типом — не менее $0,5 H_y$, где H_y — глубина уплотнения, м.

Сваи размещают в вершинах равносторонних треугольников на расстоянии l друг от друга:

$$l = 0,95 d \sqrt{\frac{\gamma_{\text{ск.упл}}}{\gamma_{\text{ск.упл.}} - \gamma_{\text{ск}}}},$$

Где $\gamma_{\text{ск.упл}}$, $\gamma_{\text{ск}}$ — объемные веса скелета грунта соответственно в уплотненном и естественном состоянии.

При этом расстояние между рядами грунтовых свай

$$l' = l \cdot \cos 30^\circ = 0,87l.$$

Ориентация рядов свай относительно осей фундамента безразлична. Однако из технологических соображений ряды удобнее располагать вдоль длинной стороны уплотняемого массива. Внешняя граница уплотненного массива расположена на расстоянии $0,5l$ от оси внешних рядов свай. Необходимое число свай в ряду n' , число рядов свай n'' и общее число грунтовых свай n соответственно:

$$n' \geq \frac{L_{min}}{l}; \quad n'' \geq \frac{B_{min}}{l}; \quad n = n' \cdot n''.$$

Число рядов свай должно быть не менее трех. Отсюда под отдельный фундамент должно быть забито не менее 8 грунтовых свай. Количество грунта для набивки одной свай

$$G = h_{св} \cdot k_c \cdot F_{св} \cdot \gamma_{ск.упл} (1 + W_{упл}),$$

где $h_{св}$ — длина грунтовой свай;

k_c — коэффициент, принимаемый равным 1,4 — для супесей, 1,1 — для суглинков и глин;

$F_{св}$ — площадь поперечного сечения свай;

$W_{упл}$ — влажность грунта, засыпаемого в скважину;

$\gamma_{ск.упл}$ — объемный вес скелета уплотненного грунта в теле грунтовой свай, равный 1,75 тс/м³.

Необходимое количество грунта в кубометрах

$$\Sigma G_{св} = n \cdot G_{св}.$$

После изготовления всех грунтовых свай вскрывают котлован. Если подошва фундамента заглублена ниже буферного слоя, то есть $h > h_6$, то котлован вскрывают сразу почти на всю глубину, оставляя только небольшой защитный слой толщиной 0,2 м. Если же подошва фундамента расположена в пределах буферного слоя, то есть $h < h_6$, то котлован вскрывают с недобором на величину $(\Delta h + 0,2)$ м и уплотняют оставшийся слой рыхлого грунта тяжелыми трамбовками. Здесь при расчете Δh следует принять

$$h'_{упл} \geq [(h_6 - h) + 0,2].$$

После трамбовки дно котлована за счет уплотнения опускается примерно до отметки $(h - 0,2)$ м. Защитный слой глубиной 0,2 м срезают по размеру подошвы фундамента $a \times b$ непосредственно перед установкой фундамента.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

В просадочных грунтах применяют сваи забивные, набивные (в том числе с уширенной пятой), сваи-оболочки, сваи в выштампованном ложе, а также набивные сваи диаметром 0,5 и 1,0 м, устраиваемые в пробуренных скважинах с забоем, уплотненным трамбованием на глубину не менее 3 м. Сопротивление по нижнему концу сваи в результате трамбования повышается в три раза и определяется как для забивных свай. Выбор типа свай зависит от действующих нагрузок и от инженерно-геологических условий площадки строительства.

Свайные фундаменты в просадочных грунтах, как правило, следует проектировать, исходя из условия возможного полного замачивания грунтов основания (аварийного или в результате подъема уровня грунтовых вод), то есть при $G \geq 0,8$. При проектировании свайных фундаментов опор мостов (при любом типе свай), а также фундаментов из свай-оболочек любых зданий и сооружений, должна предусматриваться, как правило полная прорезка грунта толщи и заглубление нижних концов свай в непросадочные грунты. В прочих случаях возможна неполная прорезка просадочных грунтов и опирание нижних концов свай на слабопросадочный грунт с $\delta_{пр} < 0,02$ при $p = 3$ кгс/см². В грунтовых условиях I-го типа по просадочности допускается устройство свай с заглублением их нижних концов не менее, чем на 1 м в слой грунта с относительной просадочностью $\delta_{пр} < 0,02$ (определенной при давлении $p = 3$ кгс/см², но не менее величины природного давления в грунте). Сваи и сваи-колонны для малоэтажных зданий IV класса допускается опирать нижними концами на просадочные грунты с относительной просадочностью $\delta_{пр} \geq 0,02$.

Несущая способность свай в грунтовых условиях I-го типа по просадочности определяется так же, как для непросадочных грунтов, но с учетом ее возможного снижения при замачивании основания. Для учета этого снижения определение R и f производится не по фактическому значению показателя консистенции I_L , а по значению I_L , которое соответствует $G \geq 0,9$ и вычисляется по формуле:

$$I_L = \left(\frac{0,9 l}{\gamma_s} - W_p \right) / (W_L - W_p).$$

При $I_L < 0,4$ для определения R и f следует принимать $I_L = 0,4$. Если возможно только местное аварийное замачивание части грунта просадочной толщи (в курсовом проекте принимается только в особых случаях по специальному указанию преподавателя), то полученные значения R и f следует умножить на дополнительный коэффициент условий работы $m = 1,4$.

В грунтовых условиях II типа по просадочности при замачивании возможна существенная просадка грунтовой толщи. При этом грунт будет смещаться вниз относительно ствола сваи (опертой на непросадочный или малопросадочный грунт), пригружая ее, так называемым, негативным трением. Несущая способность сваи в этом случае определяется по формуле

$$\Phi_{II} = \Phi - 1,4 \left(u \sum_0^{h_n} f_i l_i \right),$$

где Φ — несущая способность сваи и сваи-оболочки, определенная как для грунта I типа по просадочности;

f_i — расчетное сопротивление i -го слоя грунта на боковой поверхности, определенное как для грунта I типа по просадочности;

h_n — расчетная глубина, до которой учитывается негативное трение, равная глубине, на которой просадка основания $S_{пр. быт.}$ от собственного веса грунта равна допустимой осадке фундаментов сооружения;

l_i — толщина i -го слоя, в котором учитывается негативное трение.

Тем самым предполагают следующее. Свайный фундамент вместе с сооружением может дать осадку $S = S_{пр.}$ На глубине h_n просадка грунта от собственного веса $S_{пр. быт.}$ равна именно этой величине, т. е. в этом уровне грунт не перемещается относительно ствола сваи. Но выше этого уровня просадка грунта больше, чем осадка сваи, т. е. грунт будет смещаться вниз относительно ствола сваи, зависая на ней и пригружая ее отрицательным трением.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.02.01—83. Основания зданий и сооружений. — М.: Стройиздат, 1985.
2. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений. — М.: Стройиздат, 1978.
3. Ксенофонов А. И. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Механика грунтов, оснований и фундаментов». МИИТ, 1974.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Сводная таблица физико-механических свойств грунтов по скважине

№ п/п	Наименование показателей	Обозначения	Значения показателей в геологических слоях			Формулы для расчета
			1	2	3	
1	Удельный вес	γ_s , г/см ³				Из задания
2	Объемный вес	γ_0 , г/см ³				То же
3	Объемный вес в уплотненном состоянии	γ_0 , упл				«
4	Влажность	W; в долях единицы				«
5	Объемный вес скелета грунта	$\gamma_{ск}$				$\gamma_{ск} = \frac{\gamma_0}{1+W}$
6	Объемный вес скелета грунта в уплотненном состоянии	$\gamma_{ск, упл}$				$\gamma_{ск, упл} = \frac{\gamma_0 \text{ упл}}{1+W}$
7	Коэффициент пористости	e				$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_{ск}} - 1$
8	Коэффициент пористости в уплотненном состоянии	$e_{упл}$				$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_{ск, упл}} - 1$
9	Объемный вес во взвешенном состоянии	$\gamma_{взв}$				$\gamma_{взв} = \frac{\gamma_s - 1}{1+e}$
10	Степень влажности	G				$G = \frac{\gamma_s \cdot W}{e \gamma_w}$

№ п/п	Наименование показателей	Обозначения	Значения показателей в геологических слоях			Формулы для расчета
			1	2	3	
11	Граница раскатывания	W_p				Из задания
12	Граница текучести	W_L				Из задания
13	Число пластичности	I_p				$I_p = \frac{W_L - W_p}{-}$
14	Коэффициент консистенции	I_L				$I_L = \frac{W - W_p}{I_p}$
15	Угол внутреннего трения для грунтов в водонасыщенном состоянии	φ^0				Из задания
16	Сцепление для грунтов в водонасыщенном состоянии	c , кгс/см ²				То же
17	Угол внутреннего трения для уплотненных грунтов в водонасыщенном состоянии	φ^0				"
18	Сцепление для уплотненных грунтов в водонасыщенном состоянии	c , кгс/см ²				"
19	Модуль деформации	E , кгс/см ²				"
20	Модуль деформации для грунтов в уплотненном состоянии	E , кгс/см ²				Из задания
21	Наименование грунта по СНиП	—				

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Введение	3
1. Анализ инженерно-геологических условий	4
2. Проектирование фундаментов мелкого заложения на просадочных грунтах	7
3. Методы проектирования и возведения массивных фундаментов на просадочных грунтах	12
4. Проектирование свайных фундаментов на просадочных грунтах	19
Рекомендуемая литература	21
Приложение	22

Юрий Иванович Ковалев, Елена Юрьевна Воробьева
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ, ВОЗВОДИМЫХ НА ПРОСАДОЧНЫХ
ГРУНТАХ

Методические указания к курсовому проектированию

Выпуск I

Редактор М. М. Т а м а р о в с к а я
Техн. редактор Н. Н. В а с и л ь е в а
Корректор И. Н. Т е р е ш к и н а