



Кубанский государственный
аграрный университет им. И. Т. Трубилина

Лекция 11 по дисциплине: «Основания и фундаменты сооружений» Специальность - 08.05.01 Строительство уникальных зданий

Лектор: Полищук А. И.
заведующий кафедрой
оснований и фундаментов,
д-р техн. наук, профессор



Вводная часть к Лекции 11

Литература

1. **Полищук А. И.** Основания и фундаменты, подземные сооружения. Учебник – Краснодар; КубГАУ, 2019. - 559 с.
2. **Полищук А. И.** Основания и фундаменты, подземные сооружения. Учебник – М.: Изд-во АСВ, 2020. - 498 с.
3. **Мангушев Р. А., Сахаров И. И.** . Основания и фундаменты : учебник – М. : Изд-во АСВ, 2019. – 468 с.
4. **Полищук А. И., Семенов И. В.** Фундаменты мелкого заложения для многоэтажных зданий : науч.-практ. пособие. – М. : Изд-во АСВ, 2019. – 214 с.
5. **Полищук А. И.** Анализ грунтовых условий строительства при проектировании фундаментов зданий : науч.-практ. пособие / – М. : Изд-во АСВ, 2016. – 104 с.

Структура дисциплины

1. Количество семестров для изучения дисциплины – 2 семестра.
2. Общее количество часов на лекции в двух семестрах – 32.
3. Общее количество часов на самостоятельную работу – 94.
4. Тема курсового проекта: «Проектирование оснований и фундаментов многоэтажных зданий» – (семестр 7,8).
5. Оценка результатов изучения дисциплины:
семестр 7 – зачет;
семестр 8 – экзамен.

Лессовые просадочные грунты

Лёссовыми просадочными называются грунты, которые, находясь в напряженном состоянии от действия внешней нагрузки (сооружения) или собственного веса вышележащих слоев, при замачивании испытывают дополнительную осадку. Деформация грунта, обусловленная замачиванием под нагрузкой, при которой происходит коренное, быстро протекающее нарушение структуры грунта называется **просадкой**.

Для предварительной оценки грунтовых условий строительства к **просадочным** относят грунты, у которых коэффициент водонасыщения $S_r \leq 0,8$ и показатель I_{ss} меньше значений, приведенных в таблице 11.1.

Таблица 11.1 – Значения показателя I_{ss} для оценки просадочности и набухания глинистых грунтов

Число пластичности, %	$1 < I_p \leq 10$	$10 < I_p \leq 14$	$14 < I_p \leq 22$
Показатель I_{ss}	0,1	0,17	0,24

Показатель I_{ss} определяется по формуле:

$$I_{ss} = \frac{e_L - e}{1 + e}, \quad (11.1)$$

где e – коэффициент пористости грунта природного сложения и влажности, определяемый по лекции 1 (слайд 2), д. ед.; e_L – коэффициент пористости грунта, соответствующий влажности на границе текучести W_L и определяемый по формуле:

$$e_L = \frac{W_L \cdot \rho_s}{\rho_w}, \quad (11.2)$$

где W_L , s , w – обозначения по лекции 1 (слайд 2)

Деформация здания на
лессовых просадочных грунтах



Лессовые просадочные грунты

Характеристики просадочности и методы их определения

Для расчета просадки грунта необходимо знать характеристики просадочности:

1. Относительная просадочность грунта ε_{sl} – это относительное его сжатие при замачивании (рис. 11.2 и табл. 11.2). Характеристика ε_{sl} определяется по формуле:

$$\varepsilon_{sl} = \frac{h_1 - h_2}{h_0}, \quad (11.2)$$

где h_1 – высота образца грунта природной влажности, обжато без возможности бокового расширения давлением p , равным 0,2–0,3 МПа;

h_2 – высота того же образца после замачивания при сохранении давления p ;

h_0 – высота того же образца грунта природной влажности, обжато давлением, равным напряжению от собственного веса грунта на рассматриваемой глубине.

Величину относительной просадочности – ε_{sl} лессовых грунтов определяют обычно по схеме «одной кривой» или по схеме «двух кривых» в лабораторных или полевых условиях.

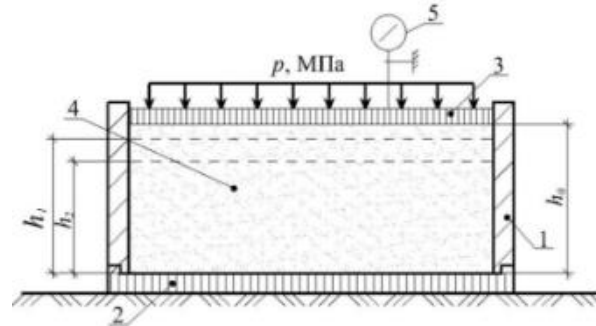


Рисунок 11.2 – Схема испытания грунта при определении относительной просадочности ε_{sl} :

1 – рабочее металлическое кольцо (внутренний диаметр более 71 мм, высотой более 20 мм); 2 – перфорированный металлический штамп, нижний; 3 – то же, верхний; 4 – лёссовый просадочный грунт; 5 – индикатор для измерения вертикальных перемещений грунта

Таблица 11.2 – Классификация просадочных грунтов (данные ГОСТ 25100.2011)

Разновидность глинистых грунтов	Относительная просадочность ε_{sl} , д. ед.
Непросадочные	$\varepsilon_{sl} \leq 0,01$
Слабопросадочный	$0,01 < \varepsilon_{sl} \leq 0,03$
Среднепросадочный	$0,03 < \varepsilon_{sl} \leq 0,07$
Сильнопросадочный	$0,07 < \varepsilon_{sl} \leq 0,12$
Чрезвычайно просадочный	$\varepsilon_{sl} > 0,12$

Лессовые просадочные грунты

Методы определения характеристики ε_{sl}

При испытании в компрессионных приборах по схеме **«одной кривой»** образец лёссового грунта нагружается до заданного давления (обычно до 0,05–0,3 МПа). После стабилизации осадки от данной ступени нагружения образец замачивается, и одновременно замеряются вертикальные деформации образца. Замачивание производится до тех пор, пока не прекращается просадка. Затем осуществляется дальнейшее нагружение образца. На основании проведенного опыта строится график относительного сжатия ε от прикладываемого давления p (рис. 11.3 а) и определяется относительная просадочность ε_{sl} образца при заданном давлении.

При определении относительной просадочности ε_{sl} по схеме **«двух кривых»** испытывается одновременно в компрессионных приборах два образца-близнеца. Один образец – природной влажности, а другой – предварительно водонасыщенный. Нагружение производится ступенями, обычно по 0,025–0,05 МПа до условной стабилизации осадок. По результатам этих опытов строятся два графика изменения относительного сжатия ε от прикладываемого давления p для испытываемых образцов (рис. 11.3 б) и определяется относительная просадочность грунта ε_{sl} при различном давлении.

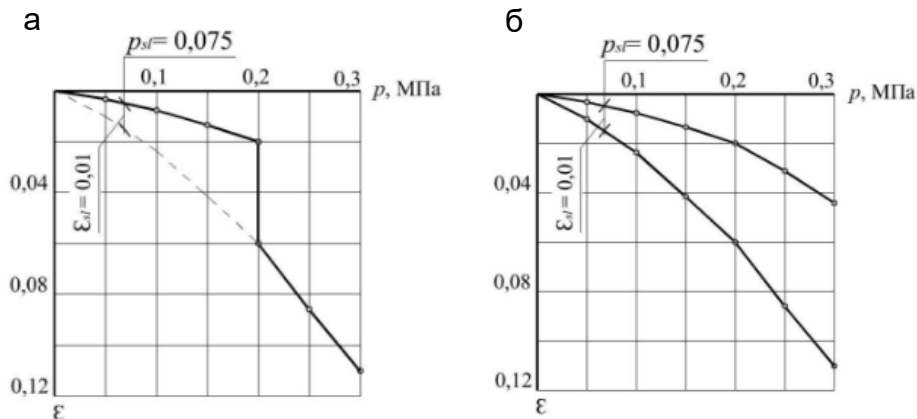


Рисунок 11.3 – Графики зависимостей относительного сжатия ε от давления p для лёссовых просадочных грунтов:

- а – при испытании по схеме «одной кривой»;
- б – то же, по схеме «двух кривых»

Лессовые просадочные грунты

Начальное просадочное давление

Для расчета просадочных деформаций лёссовых оснований необходимо знать относительную просадочность ε_{sl} при различных давлениях (напряжениях), вызванных нагрузкой от фундамента и веса грунта. С этой целью по результатам исследований грунтов строится график $\varepsilon_{sl} = f(p)$, позволяющий определять величину относительной просадочности при любом заданном давлении (рис. 11.4).

Начальное просадочное давление p_{sl} – это минимальное давление на грунт, при котором проявляются просадочные свойства в условиях его полного водонасыщения.

Начальное просадочное давление для большинства лёссовых грунтов изменяется обычно от 40 до 80 кПа. Величина p_{sl} также как и относительная просадочность ε_{sl} , определяется экспериментально при лабораторных испытаниях в компрессионных приборах или при полевых испытаниях штампами.

При испытании лёссовых грунтов в компрессионных приборах за величину начального просадочного давления p_{sl} принимается такое давление на образец грунта, при котором относительная просадочность равна 0,01 ($\varepsilon_{sl} = 0,01$, см. рис. 11.3). При полевых испытаниях штампами (фундаментами) предварительно замоченных лессовых грунтов за начальное просадочное давление p_{sl} принимается давление, равное пределу пропорциональной зависимости на графике осадка штампа – нагрузка

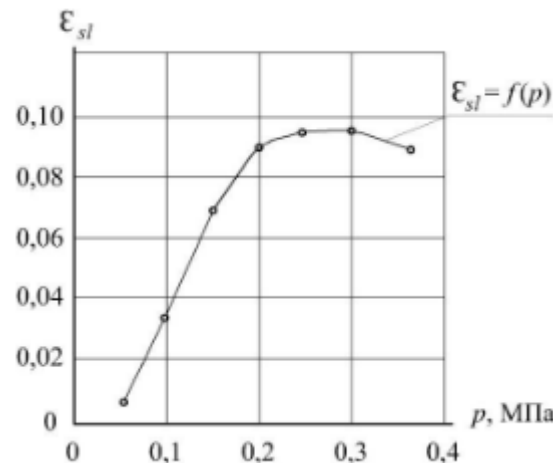


Рисунок 11.4 – График зависимости относительной просадочности ε_{sl} от давления p для лёссовых просадочных грунтов

Лессовые просадочные грунты

Условия расчета ожидаемой просадки грунта

Расчет просадок грунтов выполняется в тех случаях, когда не предусматриваются мероприятия по устранению их просадочных свойств, или когда эти свойства устранены лишь частично. Рассмотрим распределение напряжений σ_{zg} и σ_{zp} в лессовом просадочном грунте, который является несущим слоем фундамента (рис. 11.5 а). Если построить суммарную эпюру напряжений $\sigma_{zg} + \sigma_{zp}$, а также эпюру p_{sl} (p_{sl} – начальное просадочное давление), то из их сопоставления можно установить отметку в основании фундамента, где эти эпюры пересекаются (рис. 11.5 б). Точка пересечения эпюры $(\sigma_{zg} + \sigma_{zp})$ и эпюры p_{sl} находится на глубине h_{sl} , соответствующей нижней отметки деформируемой области в пределах которой происходит просадка грунта. Просадка учитывается в тех случаях, когда выполняется условие:

$$\sigma_{zg} + \sigma_{zp} > p_{sl}, \quad (11.4)$$

где принятые обозначения приведены на рисунке 11.5.

Величина ожидаемой просадки S_{sl} всей просадочной толщи лёссовых грунтов основания от действия собственного веса или от давления, передаваемого фундаментом, определяется по формуле:

$$S_{sl} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sl,i} h_i K_{sl,i}, \quad (11.5)$$

где n – число слоев, на которые разбивается просадочная толща;

$\varepsilon_{sl,i}$ – относительная просадочность, определяемая для каждого i -го слоя просадочной толщи при действующем напряжении $(\sigma_{zg} + \sigma_{zp})$ в его середине, д. ед.;

h_i – толщина рассматриваемого i -го слоя грунта, м;

$K_{sl,i}$ – коэффициент условий работы основания.

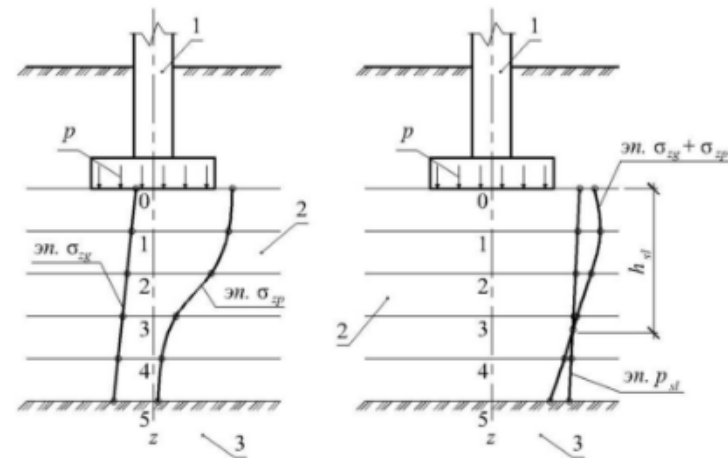


Рисунок 11.5 – Схемы к расчету просадок в основании фундаментов:

а – эпюры распределения напряжений от собственного веса грунта σ_{zg} и дополнительных напряжений σ_{zp} ; б – эпюры суммарных напряжений $(\sigma_{zg} + \sigma_{zp})$ и начального просадочного давления p_{sl} ;

1 – фундамент мелкого заложения; 2 – несущий лёссовый просадочный грунт; 3 – подстилающий непросадочный грунт;

p – давление по подошве фундамента; h_{sl} – глубина деформируемой области, в пределах которой ожидается просадка грунта

Лессовые просадочные грунты

Пример. Требуется определить ожидаемую просадку от собственного веса лессового просадочного грунта.

Исходные данные. Площадка строительства на глубину до 18 м сложена лессовыми макропористыми просадочными супесями и суглинками. Осредненные значения основных физико-механических характеристик, а также характеристик просадочности и данные о распределении напряжений от собственного веса грунта σ_{zg} приведены в таблице 11.3.

Решение. Величину просадки от собственного веса грунта определяем по выражению (11.5), используя значения относительной просадочности из таблицы 11.3 (при давлении, равном напряжению от собственного веса грунта на рассматриваемой глубине). При этом просадочность грунта будет происходить начиная с глубины $Z = 5,0$ м и ниже, где напряжение от собственного веса грунта σ_{zg} будет примерно равно (или больше) начальному просадочному давлению p_{sl} (табл. 11.3):

$$\sigma_{zg} = \gamma_w \cdot z = 18,4 \cdot 5 = 92 \text{ кПа} \approx p_{sl} = 96 \text{ кПа}.$$

Тогда

$$S_{sl} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sl,i} \cdot h_i \cdot k_{sl,i} = \left[\frac{(0,012+0,018)/2+0,018}{2} \right] \cdot 100 \times \\ \times 1,0 + \left(\frac{0,018+0,022}{2} \right) \cdot 200 \cdot 1,0 + \left(\frac{0,022+0,026}{2} \right) \cdot 200 \times \\ \times 1,0 + \left(\frac{0,026+0,028}{2} \right) \cdot 200 \cdot 1,0 + \left(\frac{0,028+0,022}{2} \right) \cdot 200 \times$$

Таблица 11.3 – Характеристики лессовых просадочных грунтов

Наименование грунта	Глубина залегания h от поверхности	Удельный вес грунта γ , кН/м ³	Удельный вес замоченного грунта γ_{sat} , кН/м ³	Относительная просадочность ε_{sl} , д.ед.	Напряжение от собственного веса грунта σ_{zg} , кПа	Начальное просадочное давление p_{sl} , кПа
Супесь твердая макропористая (слой 1)	2	16,2	18,2	0,012	36,4	96
	4	16,4	18,4	0,012	73,6	
	6	16,6	18,4	0,018	110,4	
Суглинок полутвердый макропористый (слой 2)	8	16,6	18,8	0,022	148,8	85
	10	17,0	18,8	0,026	188,2	
	12	17,2	19,0	0,028	224,4	
Супесь твердая макропористая (слой 3)	14	17,2	19,4	0,022	266,0	80
	16	17,6	20,0	0,018	306,0	
	18	17,8	20,0	0,014	344,1	

$$\times 1,0 + \left(\frac{0,022+0,018}{2} \right) \cdot 200 \cdot 1,0 + \left(\frac{0,018+0,014}{2} \right) \cdot 200 \times$$

$$\times 1,0 = 1,7 + 4,0 + 4,8 + 5,4 + 5,0 + 4,0 + 3,2 = 28,1 \text{ см}$$

Таким образом, установлено, что просадка от собственного веса грунта для грунтовой толщи, сложенной лессовидными супесями и суглинками на глубину до 18 м, составит 28,1 см.

Лессовые просадочные грунты

Типы грунтовых условий по просадочности и обоснование их выбора

Первый тип – это такая толща лёссовых просадочных грунтов, в которой просадка от действия собственного веса практически отсутствует или ее величина не превышает 5 см. В таких грунтовых условиях просадка грунта происходит в основном в пределах сжимаемой толщи основания фундаментов. Важно при этом помнить, что в пределах просадочной толщи напряжение от собственного веса грунта σ_{zg} , как правило, меньше начального просадочного давления p_{sl} , т. е. $\sigma_{zg} \leq p_{sl}$ (рис. 11.6, а).

Второй тип – это толща лёссовых просадочных грунтов, в которой наряду с просадкой от давления фундамента возможна просадка от собственного веса грунта и ее величина превышает 5 см (рис. 11.6 б). В таких грунтовых условиях просадка от собственного веса грунта происходит в нижней части просадочной толщи, начиная с глубины, где напряжения от собственного веса грунта σ_{zg} больше начального просадочного давления p_{sl} ($\sigma_{zg} > p_{sl}$). Просадка же от нагрузки, передаваемой фундаментом, происходит в верхней части основания, в пределах его сжимаемой толщи.

В целом, вероятность просадочности может проявляться у лёссовых макропористых глинистых грунтов с коэффициентом водонасыщения $S_r \leq 0,8$ и относительной просадочностью $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$.

<https://kubsau.ru/education/chairs/substructions>

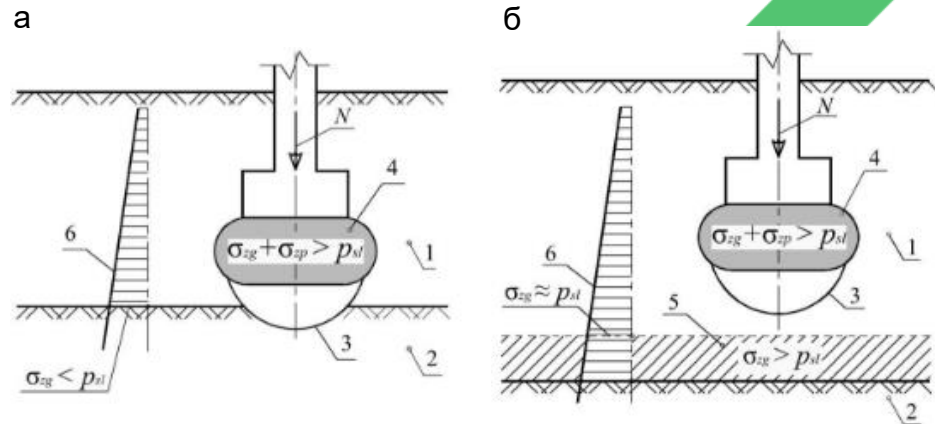


Рисунок 11.6. Зоны просадки в грунтовых условиях первого (а) и второго (б) типов по просадочности:

1, 2 – соответственно просадочная и непросадочная толщи; 3 – деформируемая область под фундаментом; 4 – зона просадки от давления фундамента, где выполняется условие $\sigma_{zg} + \sigma_{zp} > p_{sl}$; 5 – зона просадки от собственного веса грунта, где выполняется условие $\sigma_{zg} > p_{sl}$; 6 – эпюры напряжений от собственного веса грунта σ_{zg}

Лессовые просадочные грунты

Обоснование типа грунтовых условий

На практике, при проектировании фундаментов зданий на лессовых просадочных грунтах, тип грунтовых условий можно определить следующим образом. По результатам лабораторных или полевых экспериментальных исследований устанавливается начальное просадочное давление p_{sl} , относительная просадочность ϵ_{sl} при различном действующем (внешнем) давлении p , а также физические свойства грунтов. Эти данные могут быть также получены из отчета по инженерно-геологическим изысканиям на площадке строительства. Затем строится график изменения по глубине основания напряжения от собственного веса грунта σ_{zg} (рис. 11.7). При этом напряжение σ_{zg} должно определяться при полном водонасыщении грунта (коэффициент водонасыщения S_r более 0,8). На графике находится отметка, соответствующая глубине, где выполняется условие $\sigma_{zg} \approx p_{sl}$ (или глубина, где $\epsilon_{sl} = 0,01$). **К первому типу** грунтовых условий по просадочности будут относиться грунты, для которых в нижней части основания (глубина, где $\sigma_{zg} > p_{sl}$) залегает слой толщиной не более 2 м, и его расчетная просадка от его собственного веса не превышает 5 см (рис. 11.7, а). В противном случае грунтовые условия относятся **ко второму типу** по просадочности (рис. 11.7, б). Таким образом, вышеизложенное дает представление о порядке обоснования типа грунтовых условий по просадочности.

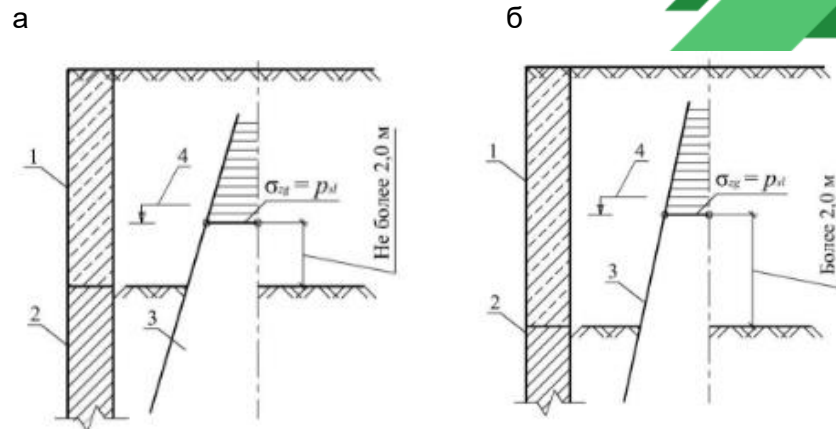


Рисунок 11.7 – Схемы для определения типа грунтовых условий по просадочности:

- а, б – соответственно для первого и второго типа;
- 1, 2 – соответственно просадочный и непросадочный грунт;
- 3 – эпюра напряжения от собственного веса грунта σ_{zg} ;
- 4 – отметка, соответствующая глубине, где выполняется условие $\sigma_{zg} = p_{sl}$ (σ_{zg} – напряжение от собственного веса грунта; p_{sl} – начальное просадочное давление).

Лессовые просадочные грунты

Пример обоснования типа грунтовых условий по просадочности

Пример. Определить тип грунтовых условий по просадочности для рассматриваемой площадки строительства.

Исходные данные.

Таблица 11.4 – Данные исследований свойств просадочных грунтов

Грунт	Толщина слоя грунта, м	Удельный вес частиц грунта γ_s , кН/м ³	Удельный вес грунта γ , кН/м ³	Удельный вес сухого грунта γ_d , кН/м ³	Естественная влажность W , д.ед.	Влажность на границе текучести W_L , д.ед.	Влажность на границе раскаты W_P , д.ед.	Начальное просадочное давление p_{sl} , кПа
Почвенно-растительный слой	0,4	–	–	–	–	–	–	–
Суглинок твердый, желтовато-бурый, макропористый (слой 1)	6,6	27,2	16,2	14,5	0,116	0,27	0,17	85
Суглинок твердый, буровато-коричневый, макропористый (слой 2)	9,0	27,0	16,8	14,9	0,125	0,28	0,16	90

Таблица 11.5 – Результаты исследований относительной просадочности при различном давлении на образцы грунта

Грунт	Относительная просадочность ε_{si} при давлении p , кПа					
	20	60	100	140	200	250
Суглинок твердый, желтовато-бурый, макропористый (слой 1)	0,000	0,016	0,032	0,040	0,060	0,065
Суглинок твердый, буровато-коричневый, макропористый (слой 2)	0,000	0,000	0,012	0,022	0,035	0,040

Решение. Построим график изменения напряжений от собственного веса грунта σ_{zg} по глубине просадочной толщи с учетом ее инженерно-геологического строения (рис. 11.8). Для этого предварительно вычисляем:

$$Z = 2,0 \text{ м}, \sigma_{zg} = 16,2 \cdot 2,0 = 32 \text{ кПа};$$

$$Z = 5,0 \text{ м}, \sigma_{zg} = 16,2 \cdot 5,0 = 81 \text{ кПа};$$

$$Z = 7,0 \text{ м}, \sigma_{zg} = 16,2 \cdot 7,0 = 113 \text{ кПа};$$

$$Z = 16,0 \text{ м}, \sigma_{zg} = 16,2 \cdot 7,0 + 16,8 \cdot 9,0 = 264 \text{ кПа}.$$

На графике (рис. 11.8) находим глубину, где выполняется условие $\sigma_{zg} \approx p_{sl}$ (σ_{zg} – напряжение от собственного веса грунта; p_{sl} – начальное просадочное давление). Данное условие выполняется на глубине $Z = 5,0$ м, где $81 \text{ кПа} \approx 85 \text{ кПа}$ (табл. 11.4).

Лессовые просадочные грунты

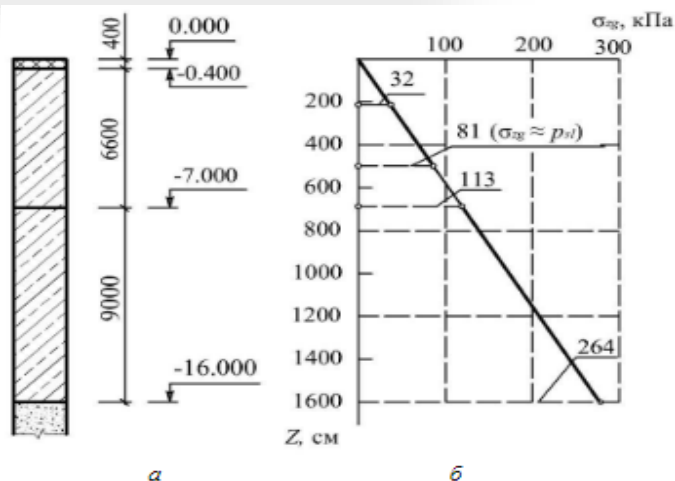


Рисунок 11.8 – Схема к определению типа грунтовых условий по просадочности: а – геологический профиль; б – эпюра распределения напряжений от собственного веса грунта σ_{zg}

Для определения просадки от собственного веса грунта просадочную толщу условно разделяем на слои толщиной 2,0 м (рис. 11.8 б) и вычисляем напряжения σ_{zg} в середине каждого слоя. Значения относительной просадочности ε_{sl} при действующем напряжении в середине рассматриваемого слоя устанавливаем с помощью предварительно построенного графика $\varepsilon_{sl}=f(p)$ (рис. 11.9) или интерполяций. Все результаты данных вычислений приведены в таблице 11.6.

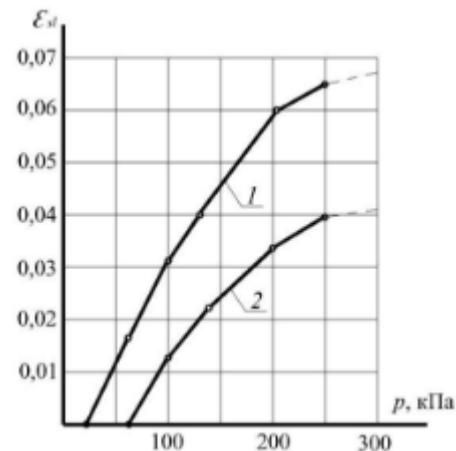


Рисунок 11.9 – График изменения относительной просадочности грунта ε_{sl} от прикладываемого давления p :
1, 2 – соответственно для первого и второго слоев лессового просадочного грунта (суглинки твердые, макропористые)

**Лессовые просадочные грунты**

Таблица 11.6 – Относительная просадочность при действующем напряжении от собственного веса грунта

Грунты	Глубина до середины рассматриваемого слоя, м	Напряжение в середине рассматриваемого слоя, кПа	Относительная просадочность ε_{sl} при действующем напряжении σ_{zg}
Слой 1	3,0	49	0,012
	5,0	81	0,026
	7,0	113	0,035
Слой 2	9,0	151	0,025
	11,0	185	0,030
	13,0	219	0,038
	15,0	252	0,040

Ожидаемую просадку от действия собственного веса грунта S_{sl} (см) в пределах просадочной толщи определяем по формуле (11.5). При этом просадку S_{sl} в пределах просадочной толщи вычисляем, начиная с глубины $Z = 5$ м, где напряжение от собственного веса грунта σ_{zg} равно начальному просадочному давлению p_{sl} ($\sigma_{zg} = 81$ кПа $p_{sl} = 85$ кПа). Тогда,

$$S_{sl} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sl,i} \cdot h_i \cdot k_{sl,i} = \left(\frac{0,026+0,035}{2} \right) \cdot 200 \cdot 1,0 +$$

$$\cdot 1,0 + \left(\frac{0,035+0,025}{2} \right) \cdot 200 \cdot 1,0 + \left(\frac{0,025+0,030}{2} \right) \cdot 200 \cdot$$

$$\cdot 1,0 + \left(\frac{0,030+0,038}{2} \right) \cdot 200 \cdot 1,0 + \left(\frac{0,038+0,040}{2} \right) \cdot 200 \cdot$$

$$\cdot 1,0 + 0,040 \cdot 100 \cdot 1,0 = 6,2 + 6,0 + 5,6 + 6,8 + 7,8 + 4,0 =$$

$$= 36,4 \text{ см}$$

Таким образом, установлено, что в пределах глубины, где $\sigma_{zg} > p_{sl}$, залегают слои лёссового макропористого грунта (суглинки) общей мощностью более 2,0 м ($Z = 11,0$ м). Просадка рассматриваемой толщи грунта от нагрузки, вызванной действием его собственного веса, более 5 см ($S_{sl} = 36,4$ см). Следовательно, грунтовые условия рассматриваемой площадки относятся ко второму типу по просадочности.

Основные методы строительства на лессовых просадочных грунтах

Основные положения. Для обеспечения прочности и устойчивости фундаментов зданий (сооружений) на лессовых просадочных грунтах в настоящее время разработан ряд методов их строительства, гарантирующих эксплуатационную пригодность при замачивании основания. Эти методы можно объединить в четыре основные группы (Ю. М. Абелев и др., 1979; В. И. Крутов и др., 1974, 2013).

1. Предохранение просадочных грунтов оснований от замачивания (водозащитные мероприятия);
2. Усиление пространственной жесткости зданий, сооружений и приспособление их к неравномерным просадкам основания (конструктивные мероприятия);
3. Полная или частичная прорезка слоя просадочных грунтов сваями (или глубокими фундаментами);
4. Устранение просадочных свойств лессовых грунтов (устройство искусственных оснований).

Выбор рационального метода строительства производится с учетом типа грунтовых условий по просадочности, конструктивных особенностей здания или сооружения, вероятности замачивания грунтов и оснований, а также технико-экономического обоснования вариантов фундаментов здания, исключающих появление просадочных деформаций грунтов.

Водозащитные мероприятия. Если исключить замачивание основания сооружений, возводимых на лессовых просадочных грунтах, то их прочность, устойчивость будут обеспечены и просадочные деформации грунтов не будут происходить. Практикой эксплуатации зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах установлено, что наиболее

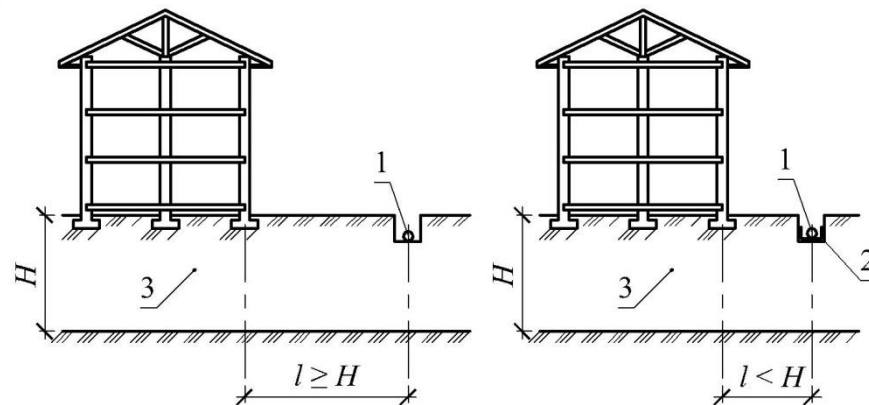


Рисунок 11.10 – Схема прокладки наружных водопроводных сетей в лессовых просадочных грунтах: а – в траншеях; б – в герметичных лотках; 1 – водопроводные сети; 2 – герметичный лоток; 3 – просадочный грунт; H – мощность просадочной толщи

опасными источниками замачивания основания являются водопровод и канализация (Ю. М. Абелев, М. Ю. Абелев, 1979). Поэтому при проектировании сооружений на грунтах, обладающих просадочными свойствами, необходимо стремиться, чтобы замачивание вследствие утечки воды было минимальными. Наружные водопроводные сети должны прокладываться от зданий на определенном расстоянии, которое примерно соответствует величине просадочной толщи грунта H (рис. 11.10, а). Если же по каким-либо причинам не-возможно соблюдение этих расстояний, наружные водопроводы прокладываются в лотках, тоннелях или каналах с герметичным днищем, имеющих выпуски для аварийного стока воды (рис. 11.10, б).

Основные методы строительства на лессовых просадочных грунтах

Внутренние водопроводные сети наиболее целесообразно прокладывать в подвалах или технических подпольях зданий. Это обеспечивает надежный контроль за их состоянием. В случае заглубления водоотводов ниже отметки подошвы фундаментов прокладка их осуществляется как для случая наружных сетей в герметичных лотках или каналах. Иногда при строительстве промышленных предприятий на просадочных грунтах второго типа с развитой системой водопровода прокладку труб производят на отметках выше отметки пола, заключая их в специальные водонепроницаемые экраны (рис. 11.11).

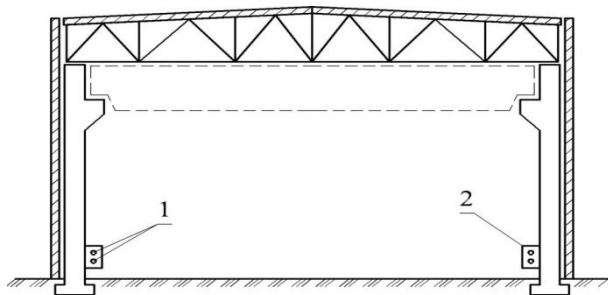


Рисунок 11.11 – Схема прокладки водопровода в промышленных зданиях построенных на лессовых просадочных грунтах второго типа по просадочности:
1 – трубы водопровода, 2 – герметичный экран

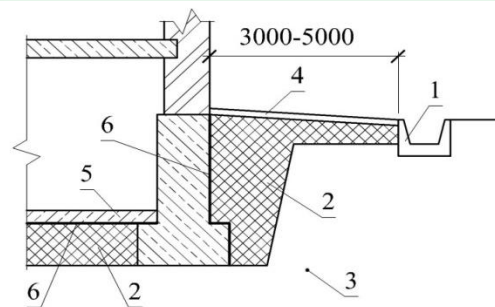


Рисунок 11.12 – Конструкции водонепроницаемой отмостки вокруг зданий:
1 – герметичный лоток для отвода воды; 2 – плотно утрамбованный глинистый грунт; 3 – несущий слой просадочного грунта; 4 – водонепроницаемая отмостка; 5 – пол подвала, выполняющий роль водонепроницаемого экрана; 6 – гидроизоляция

Для отвода атмосферных вод, стекающих с кровли, вокруг здания предусматривают *водонепроницаемые отмостки* (рис. 11.12). При этом ширина отмостки может быть различной и в зависимости от высоты здания, вида отвода атмосферных осадков (организационный, неорганизационный) составлять 3-5 м и более. Иногда при строительстве промышленных предприятий в грунтовых условиях второго типа по просадочности под полы устраивают водонепроницаемый экран из уплотненного глинистого грунта. Многолетний опыт применения водозащитных мероприятий свидетельствует о том, что исключить замачивание основания практически невозможно. Заметим, что специалисты в области водоснабжения и водоотведения считают необходимым даже узаконить нормами проектирования определенный процент утечки воды из коммуникационных сетей (Ю. М. Абелев и др., 1979). Поэтому при возведении зданий (сооружений) на лессовых просадочных грунтах водозащитные мероприятия часто применяются *в сочетании с другими методами строительства* (конструктивные мероприятия, и др.).

Основные методы строительства на лессовых просадочных грунтах

Конструктивные мероприятия. Конструктивные мероприятия увеличивают пространственную жесткость зданий, сооружений, прочность отдельных строительных конструкций и позволяют в случае неравномерных деформаций основания сохранять их целостность. Наиболее распространенными методами усиления пространственной жесткости кирпичных зданий (сооружений) являются армирование кирпичных стен и устройство железобетонных поясов. Армирование кирпичных стен производится в основном сетками через 5–6 рядов кладки. Особое внимание уделяется армированию простенков, углов стен, а также стыков наружных и внутренних стен. Увеличение пространственной жесткости зданий может быть также достигнуто за счет повышения марки кирпича и раствора.

Железобетонные пояса устраиваются по всему периметру зданий в уровне междуэтажного перекрытия каждого этажа или через этаж с их заанкерованием. Высота и ширина пояса принимаются кратными размерам кирпича. Армирование поясов устанавливается расчетом и обычно в каждом поясе укладывается арматура диаметром 8–14 см (рис. 11.13). Пояса делают непрерывными вдоль всех внутренних и наружных стен.

Рекомендуется применять монолитные и сборно-монолитные ленточные фундаменты, а также сплошные монолитные плиты и перекрестные ленты (балки). В случае использования сборных ленточных фундаментов необходимо устраивать сплошную железобетонную ленту (в качестве опорной площади) или армированный шов по сборным подушкам.

В целях приспособления к неравномерным осадкам (просадкам) оснований многоэтажные жилые и общественные здания (в том числе крупнопанельные), возводимые на лессовых просадочных грунтах, рекомендуется разрезать *осадочными швами*. В зависимости от типа грунтовых условий по просадочности расстояние между осадочными швами может быть принято 30–42 м.

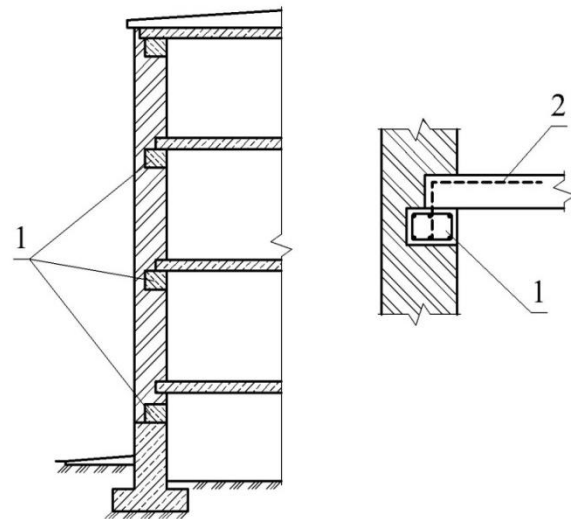


Рисунок 11.13 – Схема устройства железобетонных поясов жесткости:
а – размещение поясов в стене;
б – заанкерование пояса с перекрытием: 1 – железобетонный пояс; 2 – анкер

Основные методы строительства на лессовых просадочных грунтах

Прорезка слоя просадочных грунтов сваями. Полная прорезка всей просадочной толщи и заглубление острия свай в непросадочный грунт являются наиболее надежным, зарекомендовавшим себя на практике, методом строительства на лессовых просадочных грунтах (Ю. М. Абелев и др., 1979, В. П. Ананьев и др., 1976). При мощности слоя просадочных грунтов до 12 м лучше использовать забивные железобетонные сваи, полностью прорезающие толщу и опирающиеся нижним концом в прочные грунты. При большей толщине просадочных грунтов чаще применяют буронабивные железобетонные сваи, иногда с уширением (рис. 11.14). Глубина погружения нижних концов свай в непросадочный грунт принимается не менее 1,0 м.

Вопрос об использовании свай в лессовых макропористых грунтах, частично (неполностью) прорезающих просадочную толщу является чрезвычайно сложным. Проведенные исследования показали возможность использования висячих свай в грунтовых условиях первого типа по просадочности (В. П. Ананьев и др., 1976). В этом случае достаточно прорезать сваями лишь верхнюю, наиболее просадочную часть лессовой толщи и заглубить нижние концы свай в слабopосадочный грунт ($\varepsilon_{sl} \leq 0,02$ при давлении $p = 0,25-0,3$ МПа). По данным В. П. Ананьева, Я. Д. Гильмана и др. (1976 г.) в Ростове с 1962 по 1971 год было построено свыше 200 зданий на сваях, частично прорезающих просадочную толщу. Эти здания прошли испытание временем и часть из них успешно эксплуатируется и в настоящее время.

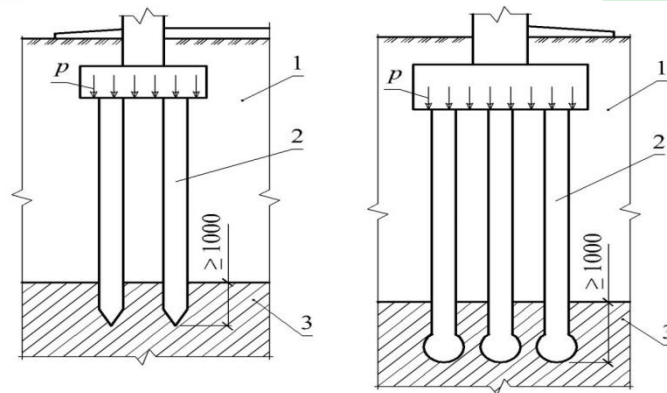


Рисунок 11.14 – Схемы устройства свайных фундаментов из свай, прорезающих просадочную толщу основания: а, б – соответственно забивные сваи, буронабивные сваи с уширением, 1 – лессовый просадочный грунт, 2 – сваи; 3 – непросадочный грунт

Анализ работы свайных фундаментов в увлажненных лессовых грунтах свидетельствует о том, что при определении не-сущей способности свай необходимо учитывать процессы отрицательного (негативного) трения по боковой поверхности свай. Сущность этого процесса заключается в том, что увлажненный грунт, окружающий сваю, при просадке дополнительно нагружает сваю за счет трения грунта по ее боковой поверхности (СП 24.13330.2011)

Основные методы строительства на лессовых просадочных грунтах

Устранение просадочных свойств грунтов. Методы строительства зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах с устранением их просадочных свойств часто называют терминами «устройство искусственных оснований на просадочных грунтах» или «техническая мелиорация лессовых грунтов» (М. Ю. Абелев и др., 1979, 1980; В. П. Ананьев, 1976). Сущность методов заключается в том, что до начала строительства в пределах просадочной толщи на всю или частично на определенную глубину производится устранение просадочных свойств грунтов (уплотнением или закреплением).

Уплотнение грунтов тяжелыми трамбовками (автор проф. Ю. М. Абелев; 1935, 1948) производится в основном на глубину до 2,0–3,5 м. Последовательность работ осуществляется следующим образом. К крану или экскаватору подвешивается трамбовка массой 3–8 тс и сбрасывается с высоты 4–8 м. Трамбовка имеет форму усеченного конуса с низким расположением центра тяжести. Сбрасывание ее производится 10–16 раз по одному следу, при этом удается получить толщину уплотняемого слоя, равную 1,5–2,0 м, при массе трамбовки 2–4 тс, и толщину 3,0–3,5 м при массе трамбовки 6–7 тс (М. Ю. Абелев и др., 1980). Трамбование макропористых лессовых грунтов тяжелыми трамбовками рекомендуется применять чаще в грунтовых условиях первого типа по просадочности. Наилучшие результаты получаются в случае уплотнения лессовых грунтов при оптимальной влажности W_o , которая примерно равна влажности на границе раскатывания W_p . В качестве критерия уплотнения грунтов используют обычно величину плотности скелета грунта ρ_d .

Если необходимо уплотнить лессовые грунты с коэффициентом водонасыщения более 0,7 ($S_r > 0,7$) мощность просадочной толщи более 3–4 м, то применяют грунтовые подушки (В. П. Ананьев, 1976, В. И. Крутов, 2013). Грунтовые подушки представляют собой уплотненный слой грунта из местных лессовых суглинков или супесей. Толщина уплотненного слоя обычно бывает от 1 до 4 м. Однако имеются случаи, когда толщина грунтовой подушки достигала 8 м и более. Для устройства грунтовой подушки отрывается котлован на необходимую глубину. Дно котлована трамбуется, а затем укладывается слоями по 25–30 см местный грунт нарушенной структуры при его оптимальной влажности W_o . По мере укладки каждый слой уплотняется механическими катками или трамбуется. Размеры грунтовой подушки устанавливаются расчетом (Б. И. Далматов, 1969; В. И. Крутов, 2013). Толщина подушки в основании фундамента назначается таким образом, чтобы полное давление p на кровлю нижележащего просадочного грунта было меньше начального просадочного давления p_{is} ($p \leq p_{is}$). Такое условие полностью устраняет появление просадочных деформаций в основании фундаментов, либо под всем зданием в целом.

Следует заметить, что в отличие от песчаной подушки грунтовая подушка практически водонепроницаема и служит экраном, препятствующим поступлению воды в основание из просадочных грунтов. По мнению проф. М. Ю. Абелева (1975), песчаные подушки устраивать на маловлажных просадочных грунтах не рекомендуется, поскольку они хорошо фильтруют воду, что может вызвать появление просадок фундаментов.

Основные методы строительства на лессовых просадочных грунтах

Уплотнение лессовых просадочных грунтов тяжелой трамбовкой



Основные методы строительства на лессовых просадочных грунтах

Устройство грунтовых свай

Для глубинного уплотнения грунтов, обладающих просадочными свойствами, применяют грунтовые сваи. Сущность метода состоит в том, что в толще просадочного грунта устраивают скважины, заполненные местным грунтом оптимальной влажности с постоянным уплотнением. Такой набитый столб грунта и называется грунтовой свайей.

Уплотнение просадочных грунтов грунтовыми сваями осуществляется в пределах просадочной толщи на глубине 16–25 м и более (В. И. Крутов, Е. А. Сорочан, 1965, 2013). Расстояние между скважинами принимается 2–4 диаметра свай. За счет уплотненного просадочного грунта вокруг грунтовой свай полностью уничтожаются макропоры и грунт становится непросадочным (рис. 11.15).

Для устройства грунтовых свай наиболее широкое распространение получили методы с использованием энергии взрыва и станков ударно-канатного бурения марки БС-1 м (В. П. Ананьев, 1976; М. Ю. Абелев и др., 1980).

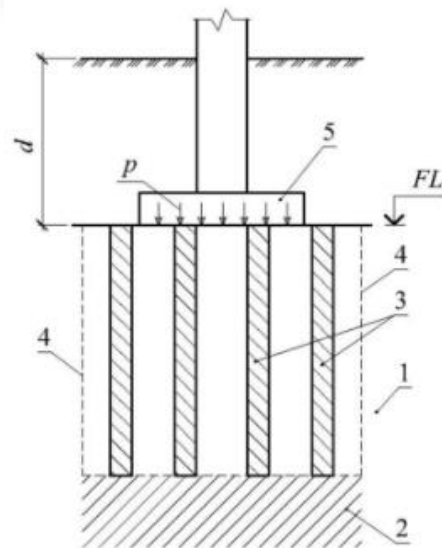


Рисунок 11.15 – Схема глубинного уплотнения лессовых просадочных грунтов грунтовыми сваями:
1 – лессовый просадочный грунт; 2 – непросадочный грунт;
3 – грунтовые сваи; 4 – границы зоны уплотнения грунта грунтовыми сваями; 5 – железобетонный фундамент; d , FL – соответственно глубина заложения и отметка подошвы фундамента

Основные методы строительства на лессовых просадочных грунтах

Устройство грунтовых свай.

Технологический процесс уплотнения просадочных грунтов энергией взрыва заключается в следующем. Вначале пробивается скважина – шнур диаметром 7-8 см на проектную глубину уплотнения. В шнур опускают рассредоточенные заряды. За счет взрыва скважина расширяется до 40-50 см в диаметре и вокруг нее образуется уплотненная зона грунта диаметром до 1 м (В. И. Крутов и др., 2013). Затем скважины засыпаются местным грунтом с послойным уплотнением специальной трамбовкой. Рассматриваемое конструктивное решение свай изложено в лекции.

Устройство грунтовых свай с помощью станков ударно-канатного бурения применяется в России примерно с 1963 г. Грунтовые сваи устраиваются путем периодического подъема ударной штанги с наконечником, который при падении с высоты наносит удары по забою скважины, разрушая породу. Затем скважина заполняется местным лессовым грунтом и уплотняется тем же станком БС–1м (рис. 11.16). Обычно изготовление грунтовых свай осуществляется с помощью двух типов наконечников. Для пробивки скважин в грунте используется конический наконечник с углом 30° при вершине.

А для уплотнения грунтового материала, засыпаемого в скважину, применяют наконечник параболической формы. Диаметр наконечника составляет 42,6 см, а диаметр пробиваемых скважин 50–55 см.

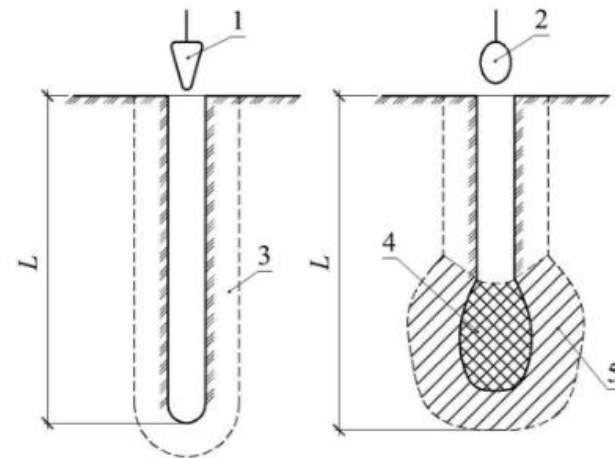


Рисунок 11.16 – Схема устройства грунтовых свай с помощью

станков ударно-канатного бурения (БС–1м):

- 1 – наконечник для пробивки скважин; 2 – наконечник для уплотнения грунтов; 3 – уплотняемая зона; 4 – местный грунт (суглинок); 5 – лессовый непросадочный грунт после уплотнения

Основные методы строительства на лессовых просадочных грунтах

Метод предварительного замачивания грунтов

Метод предварительного замачивания рекомендуется применять для уплотнения макропористых просадочных грунтов мощностью более 7–10 м. Особенно эффективен этот способ при больших толщах однородных по сложенности просадочных грунтов (15–30 м). Уплотнение и устранение просадочности при замачивании происходит за счет собственного веса грунта, начиная с глубин, где напряжение от его собственного веса σ_{zg} равно или больше начального просадочного давления p_{sl} ($\sigma_{zg} \geq p_{sl}$). Выше этой отметки (зоны) лессовый макропористый грунт сохраняет свои просадочные свойства.

Предварительное замачивание грунтов производится с поверхности. Для этого отрывается котлован и устраиваются дренажные скважины, которые засыпаются песком или другим дренирующим материалом. Расстояние между скважинами принимается 5–7 м, а глубина примерно равной 0,7–0,8 толщины слоя просадочного грунта.

Минимальная глубина, начиная с которой при замачивании происходит уплотнение просадочных грунтов собственным весом, бывает различная. Например, при начальном просадочном давлении $p_{sl} = 20\text{--}30$ кПа просадка наблюдается на глубине 3,0 м, а при начальном просадочном давлении 70–150 кПа, начиная с глубины 5–9 м. Для полного устранения просадочных свойств грунта в пределах верхних слоев метод предварительного замачивания обычно применяют в сочетании с другими методами поверхностного или глубинного уплотнения (тяжелые трамбовки, грунтовые подушки, грунтовые сваи, энергия взрыва и т.д.). Это позволяет ликвидировать просадочные свойства всей толщи макропористых лессовых грунтов (рис. 11.17).

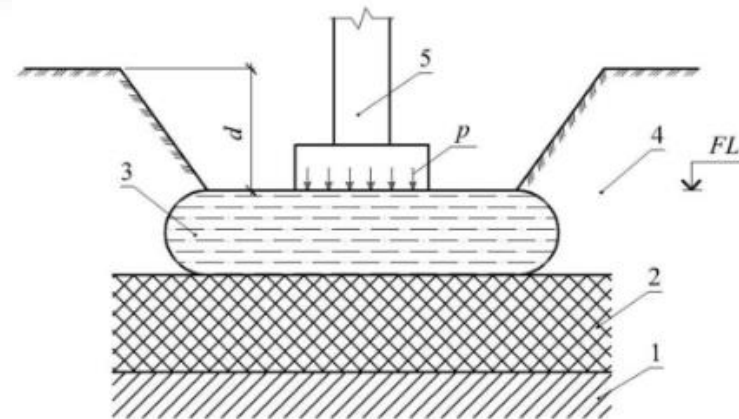


Рисунок 11.17 – Схема уплотнения просадочных грунтов предварительным замачиванием в сочетании с поверхностным трамбованием:
1 – непросадочный грунт; 2 – грунт уплотненный замачиванием; 3 – грунт уплотненный трамбованием; 4 – просадочный грунт; 5 – фундамент мелкого заложения

Основные методы строительства на лессовых просадочных грунтах

Фундаменты в вытрамбованных котлованах

При строительстве зданий, сооружений на лессовых просадочных грунтах с небольшими нагрузками (одноэтажные промышленные и сельскохозяйственные здания; многоэтажные здания и т. п.) целесообразным является устройство фундаментов в *вытрамбованных котлованах* или *траншеях* (В. И. Крутов, 1982: 2013). Этот метод по своему содержанию близок к методу уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками. С помощью специальной падающей трамбовки массой 30–70 кН с высоты 5–7 м макропористый грунт уплотняется вниз и в стороны на необходимую глубину, образуя котлован под фундаментом. Трамбовка может быть различной формы в плане (круг, квадрат, прямоугольник). Ниже дна котлована образуется слой уплотненного непросадочного грунта с плотностью скелета $\rho_d = 1,65–1,85 \text{ г/см}^3$ и глубиной, примерно равной 1,7–2,0 диаметра (ширины) трамбовки (рис. 11.18). Метод вытрамбовывания чаще применяется при строительстве на лессовых грунтах первого типа по просадочности, имеющих характеристику коэффициента водонасыщения S_r не более 0,7 ($S_r \leq 0,7$). Устроенный вытрамбовкой котлован бетонируется в распор со стенками, либо в котловане (траншее) монтируются сборные фундаменты. Данный метод позволяет значительно уменьшить объем земляных работ и исключить опалубочные работы.

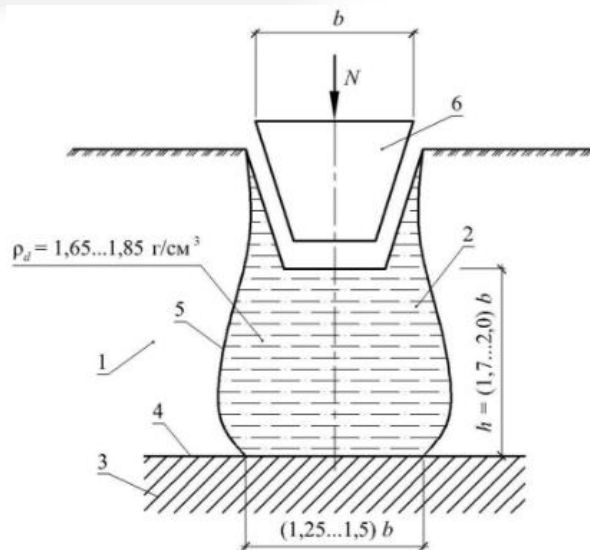
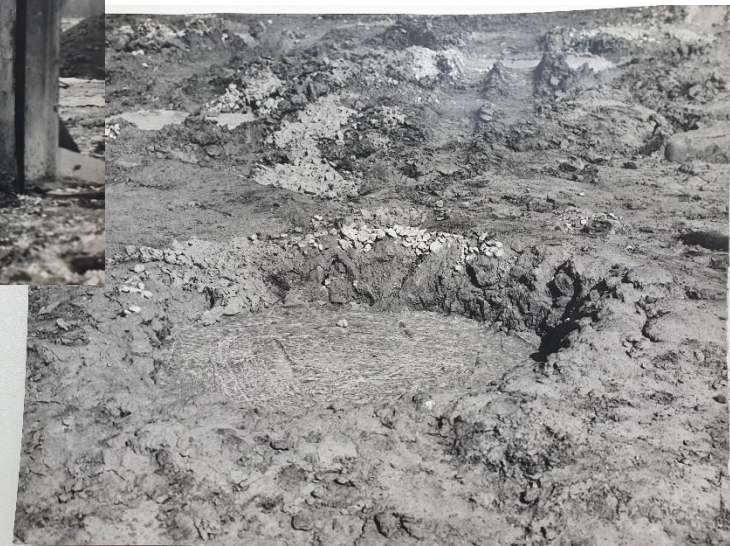


Рисунок 11.18 – Схема устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах (или траншеях):

- 1 – лессовый просадочный грунт; 2 – уплотненный грунт;
- 3 – слой непросадочного грунта; 4 – нижняя граница просадочной толщи; 5 – граница уплотненного грунта; 6 – трамбовка специальной конструкции

Основные методы строительства на лессовых просадочных грунтах

Фундаменты в вытрамбованных котлованах





БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина
*заведующий кафедрой «Основания и фундаменты»,
д-р техн. наук, профессор Полищук А. И.*