



Кубанский государственный
аграрный университет им. И. Т. Трубилина

Лекция 9 по дисциплине: «Основания и фундаменты сооружений» Специальность - 08.05.01 Строительство уникальных зданий

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



Вводная часть к Лекции 9

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.

Классификация методов

При строительстве на грунтах, обладающих специфическими свойствами рекомендуется применять искусственное улучшение (**преобразование**) свойств основания. Для этого необходимо увеличить прочность и уменьшить сжимаемость.

Существует несколько **методов улучшения свойств основания**:

1. Конструктивные методы
2. Механические методы – поверхностное, глубинное уплотнение
3. Физико-механические методы.

Авторы - Н.А.Цытович, М.Ю.Абелев и др. (1970)

В настоящее время используют классификацию Р.А.Мангушева, А.А.Сахарова, представленную в таблице.

Методы подготовки искусственных оснований и грунтовые области их применения

Методы подготовки оснований и устройства фундаментов	Метод подготовки или способ его устройства	Область применения (рекомендуемые грунтовые условия)
1	2	3
I. Замена грунта, конструктивные мероприятия, армирование грунтов	1. Песчаные подушки	Набухающие, насыпные, намывные, засоленные и загипсованные грунты, слабые сильносжимаемые грунты в текучем состоянии, торфы, заторфованные грунты, илы и илстые грунты
	2. Грунтовые подушки из местного связанного грунта	Просадочные, набухающие, насыпные, намывные, засоленные и загипсованные грунты, слабые сильносжимаемые грунты
	3. Ограничение горизонтальных перемещений грунтов (взятие грунтов в обойму)	Намывные, слабые сильносжимаемые грунты в текучем состоянии, торфы, заторфованные грунты, илы и илстые грунты
	4. Армирование грунтов	Просадочные, намывные, слабые сильносжимаемые грунты в текучем состоянии, торфы, заторфованные грунты, илы и илстые грунты

II. Механическим уплотнением

А. Поверхностное уплотнение грунтов:

1. Тяжелыми трамбовками

Макропористые просадочные, рыхлые песчаные, свежеелочные и насыпные грунты, намывные грунты

2. Катками, легкими трамбовками и другими механизмами и транспортными средствами

То же при послойной укладке

3. Вибраторами площадочными

Рыхлые песчаные грунты при послойной укладке

4. Вытрамбовыванием котлованов

Макропористые просадочные грунты, пылевато-глинистые грунты

5. Подводными взрывами

Макропористые просадочные, насыпные, намывные и рыхлые песчаные грунты

Б. Глубинное уплотнение грунтов:

1. Грунтовыми сваями

Макропористые просадочные грунты

2. Песчаными сваями

Рыхлые пылеватые и мелкие пески

3. Известковыми сваями

Слабые сильносжимаемые пылевато-глинистые и заторфованные грунты

4. Виброуплотнением или гидро-виброуплотнением

Рыхлые песчаные грунты

5. Предварительным замачиванием

Макропористые просадочные грунты

6. Предварительным замачиванием и энергией глубинных взрывов

То же

1	2	3
III. Инъекционным закреплением	7. Предпостроечное уплотнение пригрузкой территории	Слабые сильносжимаемые пылевато-глинистые грунты, торфы, заторфованные и илстые грунты
	8. Предпостроечное уплотнение пригрузкой территории и вертикальными дренами	То же
	9. Глубинное водопонижение	Слабые сильносжимаемые пылевато-глинистые грунты, торфы, заторфованные и илстые грунты, водонасыщенные пески
III. Инъекционным закреплением	1. Силикатизацией	Пески и макропористые просадочные грунты
	2. Синтетическими смолами	То же
	3. Битунизацией, глинизацией, цементизацией	Трещиноватые скальные грунты
	4. С использованием высоконапорных инъекций и струйной технологии	Пески, макропористые просадочные, пылевато-глинистые, слабые сильносжимаемые грунты
	5. Термообработкой	Макропористые просадочные грунты

Конструктивные методы

Песчаные подушки

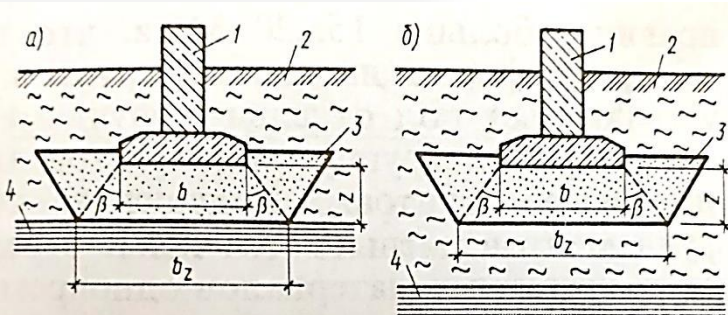


Рис. 12.1. Устройство песчаных подушек при малой (а) и большой (б) толще слабых грунтов:

1 — фундамент; 2 — слабый грунт; 3 — песчаная подушка; 4 — плотный подстилающий грунт

Песчаные подушки — устраиваются в слабых глинистых грунтах (илы, текучие пылевато-глинистые грунты, торфы и др.). Материалы подушек — гравий, щебень, крупные и средней крупности пески, шлак и др. Для просадочных грунтов может использоваться местный перемятый глинистый грунт (грунтовые подушки). Толщина песчаных подушек обычно 1-3 м.

Способы устройства

1. Если слабый грунт имеет незначительную толщину, порядка 1-3 м, а ниже малосжимаемое прочное основание. В этом случае целесообразно слабый грунт заменить и устроить песчаную подушку (рис. 12а).
2. Если слабый грунт имеет значительную мощность (превышает 3 м), то полную замену его не выполняют. В этом случае используют устройство песчаных подушек «висячего» типа, подстилаемых слабым грунтом (рис. 12б). Размеры подушек во втором случае устанавливают по расчету, чтобы они обеспечивали надежное решение здания согласно принципам проектирования оснований по предельным состояниям.

Песчаные подушки необходимо возводить таким образом, чтобы добиться максимальной плотности укладки грунта. При больших размерах в плане подушки отсыпаются послойно при толщине слоя 15...20 см. Каждый слой грунта уплотняется катками. При устройстве подушек под отдельно стоящие фундаменты материал подушек уплотняется при помощи виброплит, вибротрамбовок, пневмотрамбовок. Уплотнение производят до получения заданной плотности скелета грунта, равной 1,65... 1,75 г/см³.

Конструктивные методы

Шпунтовые конструкции

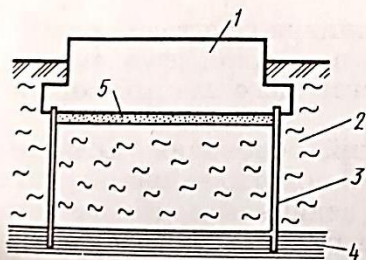


Рис. 12.2. Усиление основания с помощью шпунтового ограждения:

1 — фундамент; 2 — слабый грунт; 3 — шпунтовое ограждение; 4 — плотный грунт; 5 — песчаная подготовка

Шпунтовые конструкции используются для улучшения условий работы грунтов в основаниях сооружений. Шпунт погружают через толщу **слабых грунтов** в плотный грунт. Фундаментная конструкция устраивается на песчаной подушке и сопрягается со шпунтом. Такое техническое решение исключает возможность выпирания грунта в сторону из-под фундамента и **ограничивает его боковое расширение** при деформациях основания, что приводит к уменьшению осадок.

Армирование грунта

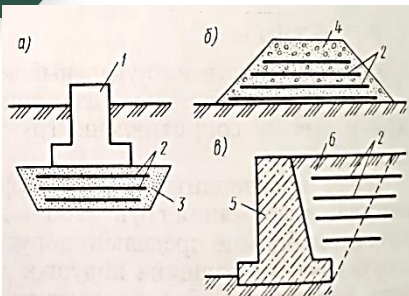
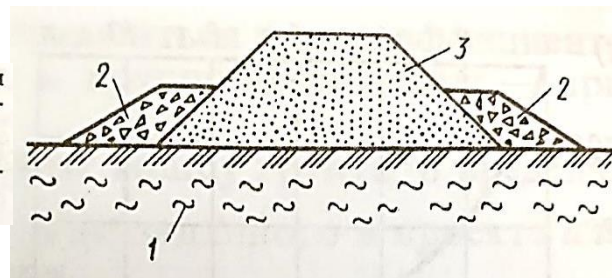


Рис. 12.3. Армирование грунта в искусственном основании фундамента (а), при устройстве насыпи (б), при возведении обратных засыпок (в):

1 — фундамент; 2 — армирующие элементы; 3 — песчаная подушка; 4 — насыпь; 5 — подпорная стенка; 6 — призма обрушения

Рис. 12.4. Увеличение устойчивости насыпи на слабых грунтах методом боковой пригрузки:

1 — слабый грунт; 2 — боковая пригрузка; 3 — насыпь



Армирование грунта заключается во введении в грунт специальных армирующих элементов, которые выполняются в виде лент, сплошных матов из **геотекстиля**. Реже используется металлическая арматура. Армирующие элементы должны обладать достаточной прочностью и обеспечивать необходимое зацепление с грунтом, для чего их поверхность делается шероховатой. На рис. 12.3 приведена схема армирования искусственного основания фундамента. В этом случае увеличивается **несущая способность основания** и снижаются осадки фундаментов. Эффективно армирование грунта в теле искусственных насыпей, что повышает устойчивость их откосов. При возведении подпорных стенок армирование грунта обратной засыпки существенно снижает активное давление грунта на стенку, вследствие чего уменьшаются усилия в конструкции стенки и увеличивается ее устойчивость.

Боковые пригрузки. При возведении ограждающих дамб (рис. 12.4) и других земляных сооружений на слабых грунтах **устойчивость откосов** сооружений и их оснований может быть повышена устройством пригрузок основания и низовой части откосов, выполняемых из крупнообломочных или песчаных грунтов.

Поверхностное уплотнение

Поверхностное уплотнение грунтов производится гладкими и кулачковыми катками, виброплитами, легкими и тяжелыми трамбовками. Поверхностное уплотнение может применяться для грунтов **маловлажных** и влажных при коэффициенте водонасыщения менее 0,7. Уплотнить полностью водонасыщенные грунты укаткой и трамбованием не удастся. Это объясняется тем, что уплотнение происходит за короткий промежуток времени, за который в водонасыщенных грунтах возникает большое поровое давление. Вода при этом не успевает выдавливаться из пор.

Данные о поверхностном уплотнении грунтов

Механизмы для уплотнения грунтов	Площадь трамбования, м ²	Глубина уплотнения слоя, м
Ручные трамбовки (взрывные, пневматические)	0,01—0,04	0,1—0,2
Виброплиты	0,25—1,0	0,5—0,7
Гладкие катки	—	0,1—0,25
Кулачковые катки	—	0,2—0,35
Виброкатки	—	0,3—0,5
Катки с падающими грузами 0,8 Т; 1,2 Т; 1,7 Т	—	1,0—1,5
Молот двойного действия весом 2,2 Т на металлическом поддоне	2,1	1,2—1,4
Тяжелые трамбовки весом 2—4 Т, сбрасываемые с 4—5 м	1,6	1,5—2,2
Тяжелые трамбовки весом 5—7 Т, сбрасываемые с 6—8 м	2,2—3,1	2,7—3,5

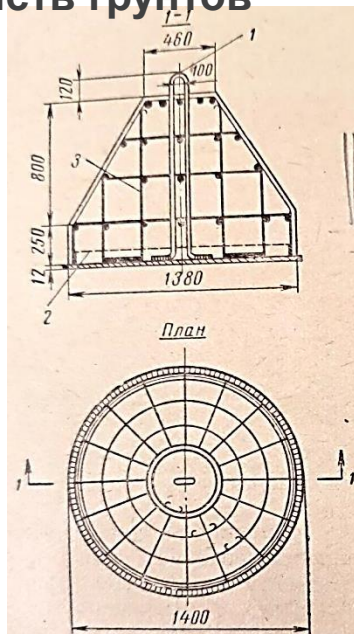


Рис. V-1. Железобетонная трамбовка диаметром 1,4 м:
1 — петля для подъема; 2 — окаймляющее стальное кольцо; 3 — армирующий каркас Φ 8 мм

трамбовки или катка в виде вала. Глубина уплотненного слоя грунта, которая достигается при использовании различных механизмов, приведена в табл. V-1. Виброплиты и виброкатки целесообразно применять только для уплотнения рыхлых песчаных и крупнообломочных грунтов.

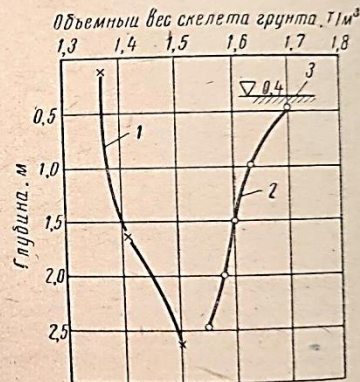


Рис. V-2. График изменения объемного веса скелета грунта по глубине при уплотнении тяжелыми трамбовками:

1 — до уплотнения; 2 — после уплотнения; 3 — отметка поверхности после трамбования

Уплотнение грунтов **тяжелыми трамбовками** обычно производится следующим образом. К крану на базе экскаватора, трактора или копра подвешивается трамбовка весом от 2 до 4 т, которая сбрасывается с высоты 4-5 м. Трамбовка изготавливается на месте постройки из железобетона и должна иметь форму усеченного конуса с низким расположением центра тяжести.

Поверхностное уплотнение

Тяжелыми трамбовками массой от 20 до 50 кН можно уплотнить грунты до 2-3 м. При этом удары трамбовки наносятся по одному месту до отказа, т.е. до одинакового понижения от удара от 0,5 до 2 см, где меньшие значения соответствуют пескам, а большие – глинистым грунтам. **Число ударов** по одному месту может достигать 6-12 раз. В дальнейшем для поверхностного уплотнения грунтов в ряде стран, и прежде всего во Франции, начали применяться трамбовки **весом 100-200 кН**, сбрасываемые **с высоты до 25 м**. Уплотнение песчаных грунтов при этом достигалось до глубины 10 м. В настоящее время применяются и **сверхтяжелые трамбовки** весом более 500 кН.

Глубина уплотнения тяжелыми трамбовками h_c зависит от природной плотности и влажности грунтов, диаметра и веса трамбовки, режима уплотнения и при оптимальной влажности приближенно принимается

$$h_c = k \cdot d$$

где d – диаметр основания трамбовки, м; k – коэффициент, принимаемый по данным экспериментальных исследований для супесей и суглинков равным 1,8, для глин 1,5.

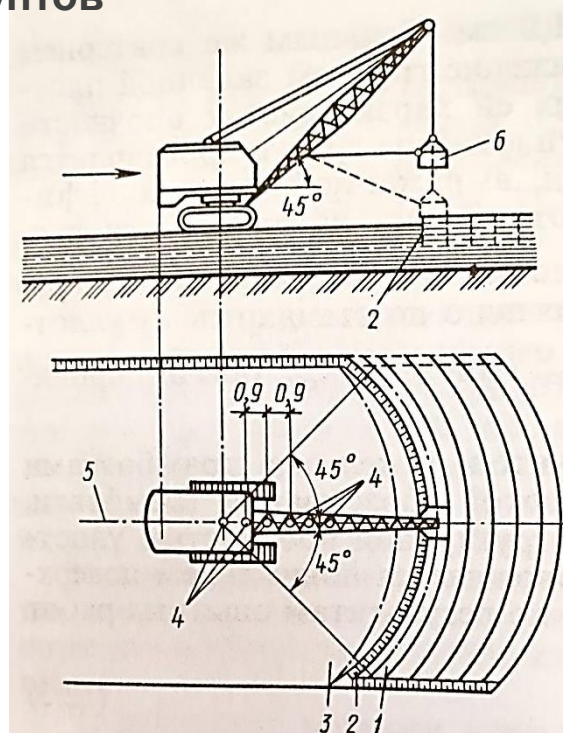


Рис. 12.7. Схема поверхностного уплотнения грунта тяжелой трамбовкой:

1 – уплотняемая полоса; 2 – полоса перекрытия; 3 – уплотненная полоса; 4 – место стоянки экскаватора; 5 – ось проходки экскаватора; 6 – трамбовка

Поверхностное уплотнение

Режим поверхностного уплотнения устанавливается экспериментально. Для этого определяют оптимальные плотность и влажность грунта. Эффективность уплотнения грунтов определяется по методике стандартного уплотнения (ГОСТ 22733-2002). **Оптимальная влажность** глинистых грунтов, при отсутствии данных экспериментов, рекомендуется принимать из табл. 4.2 или по зависимостям:

- при уплотнении укаткой:

$$W_{\text{опт}} = W_p$$

- при уплотнении трамбованием:

$$W_{\text{опт}} = W_p - (0,01 - 0,03)$$

где W_p – влажность грунта на границе раскатывания.

Грунты с влажностью меньше оптимальной перед уплотнением доувлажняются путем подачи воды в открытый котлован.

Уплотнение грунтов обычно производится до определенной степени плотности $\rho_{d,\text{com}}$, выражаемой через коэффициент уплотнения k_{com} , представляющий собой отношение заданного или фактически полученного значения уплотненного грунта ρ_d к его максимальному значению по стандартному уплотнению $\rho_{d,\text{max}}$ (см. табл. 4.3):

$$k_{\text{com}} = \rho_d / \rho_{d,\text{max}}$$

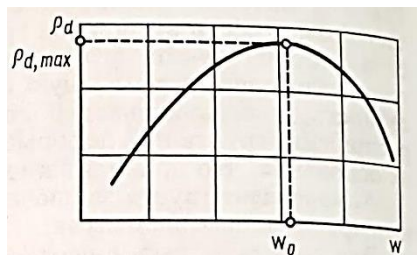


Рис. 12.6. Зависимость плотности скелета уплотненного грунта от влажности при стандартном уплотнении

Таблица 4.2

Значения оптимальной влажности и плотности скелета грунта

Вид грунта	Диапазоны	
	оптимальной влажности $w_{\text{опт}}$, %	плотности сухого грунта ρ_d , т/м ³
Песок крупный и средней крупности	8–12	1,75–1,95
Песок мелкий	9–15	1,65–1,85
Песок пылеватый	14–23	1,6–1,82
Суглинок тяжелый	15–22	1,6–1,8
Суглинок пылеватый	17–23	1,58–1,78
Глина	18–25	1,55–1,75

Таблица 4.3

Необходимая степень уплотнения грунта

Назначение уплотненного грунта	Коэффициент уплотнения k_{com}
Для оснований фундаментов зданий, сооружений и тяжелого оборудования, полов с равномерной нагрузкой более 0,15 МПа	0,95–0,98
То же для среднего оборудования, внутренних конструкций, полов с нагрузкой 0,005–0,15 МПа	0,92–0,95
То же для легкого оборудования, отмостки у зданий, полов с нагрузкой менее 0,05 МПа	0,90–0,92

Поверхностное уплотнение

Ввиду того, что при уплотнении дно котлована понижается, его отметку до начала работ принимают выше проектной на величину возможного понижения. Уплотнение обычно **признается целесообразным**, если понижение трамбуемой поверхности превышает 5 см для песчаных и 8 см для глинистых грунтов. В зависимости от коэффициентов пористости грунта в природном состоянии и глубины уплотнения величина понижения трамбуемой поверхности тяжелыми трамбовками может достигать 40-60 см. Ширина уплотняемой полосы за пределами фундаментов должна быть не менее 0,3 м.

Достоинствами поверхностного уплотнения грунтов природного сложения с помощью тяжелых трамбовок являются возможность уплотнять любые (связные или несвязные) грунты.

К недостаткам поверхностного уплотнения относится низкая производительность труда, высокая степень изнашиваемости тросов и лебедок.

Расчет фундаментов на поверхностно уплотненных грунтах следует производить как для двухслойного основания. Прочностные и деформационные характеристики верхнего слоя должны определяться по результатам испытаний. При отсутствии экспериментальных характеристик в расчетах можно пользоваться данными таблиц.

Расчетные сопротивления основания из уплотненных грунтов

Грунты	R_0 , МПа, при коэффициенте уплотнения k_{com}		
	0,92	0,95	0,97
Супеси	0,2	0,25	0,28
Суглинки	0,25	0,3	0,32
Глины	0,3	0,35	0,4
Крупные пески	0,3	0,4	0,5
Средние пески	0,25	0,3	0,4
Мелкие пески	0,2	0,25	0,3

Таблица 4.5

Нормативные значения модулей деформации некоторых видов уплотненных грунтов

Грунты	E , МПа			
	при влажности уплотнения, равной w_{opt}		в водонасыщенном состоянии	
	$k_{com} = 0,92$	$k_{com} = 0,95$	$k_{com} = 0,92$	$k_{com} = 0,95$
Лёссовидные супеси	20	25	15	20
Лёссовидные суглинки	25	30	20	25
Крупные пески	30	40	—	—
Средние пески	25	30	—	—
Мелкие пески	15	20	—	—

Поверхностное уплотнение

Вытрамбовывание котлованов под фундаменты.

Этот метод является некоторой разновидностью поверхностного уплотнения грунтов трамбованием. Суть его заключается в вытрамбовании полости с помощью серии ударов специальной трамбовкой по одному месту. В полость укладывают бетон, который и образует тело фундамента. Несущая способность таких фундаментов может быть повышена за счет уширения, образованного втрамбованным щебнем.

Вытрамбовывание котлованов может производиться **почти во всех грунтах** независимо от степени их водонасыщения. Трамбовки, имеющие форму будущих фундаментов, обычно имеют массу от 1,5 до 10 т и сбрасываются с высоты 4-8 м. Для обеспечения многократного сбрасывания трамбоек в одно и то же место используемые краны или экскаваторы снабжаются направляющими стойками.

При расчетах фундаментов в вытрамбованных котлованах по деформациям используется меньшее из двух расчетных сопротивлений - уплотненного грунта и грунта естественного сложения, подстилающего уплотненную зону.

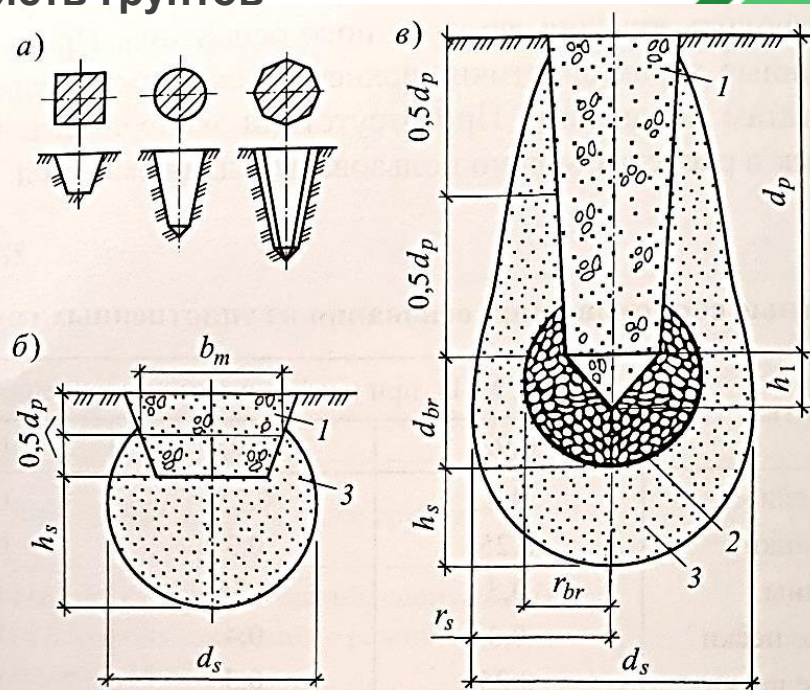


Рис. 4.7. Фундаменты в вытрамбованных котлованах:

а – с конической подошвой и втрамбовыванием щебня в грунт;
б – с плоской подошвой; *в* – схема образования зоны уплотнения грунта около выполненного фундамента; 1 – фундамент; 2 – втрамбованный жесткий материал; 3 – уплотненная зона

Глубинное уплотнение

В том случае, если поверхностное уплотнение является неэффективным (например, после поверхностного уплотнения осадки превышают допустимые) применяют **глубинное уплотнение**. Применяют при строительстве на слабых глинистых грунтах, для устранения просадочности, набухания глинистых грунтов, при возведении сооружений на рыхлых или водонасыщенных песках и др.

Уплотнение рыхлых песков вибрированием

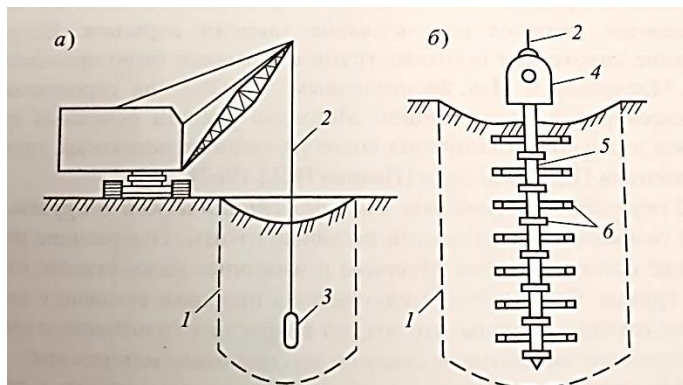


Рис. 4.8. Уплотнение насыщенных водой песков вибрированием с помощью:

а – глубинного вибратора; б – вибропогружателя с уплотнителем;
1 – граница уплотнения; 2 – трос; 3 – вибратор; 4 – вибропогружатель;
5 – стержень из трубы; 6 – приваренные планки

Глубинное уплотнение **рыхлых среднезернистых песков** вибратором было произведено Г.Л. Медведевым и И.А. Физделем в СССР в 1939 г. В последующем этот метод достаточно широко применялся для подготовки оснований промышленных сооружений. За рубежом метод применяли во Франции для уплотнения водонасыщенных песков на глубине до 17 м.

На месте намеченного уплотнения в грунт на расчетную глубину погружают **заряды взрывчатого вещества** и производят камуфлетный взрыв. Оседание поверхности грунта после взрыва свидетельствует об уплотнении песка.

Уплотнение песков глубинными взрывами

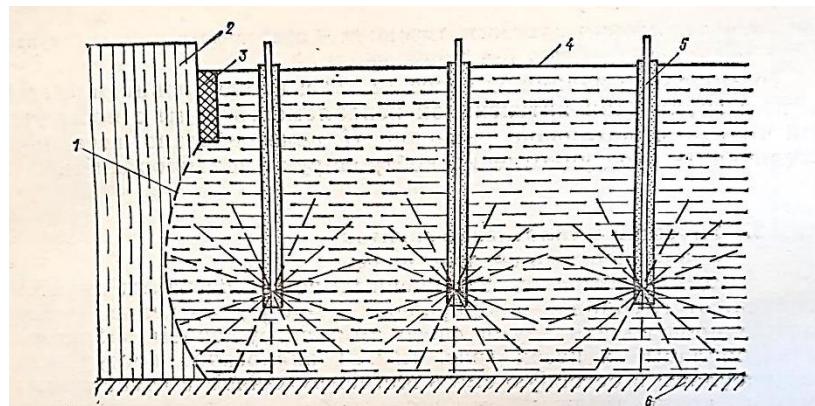


Рис. 12.4. Разрез по зоне грунта, уплотняемого предварительным замачиванием и глубинными взрывами

1 – граница уплотняемой зоны; 2 – неуплотняемый грунт; 3 – контурная траншея; 4 – поверхность уплотняемого грунта; 5 – совмещенные скважины; 6 – непродвижной грунт

Глубинное уплотнение

Устройство песчаных свай

Песчаные сваи применяются для глубинного уплотнения сильносжимаемых глинистых грунтов, рыхлых песков, заторфованных грунтов, а также в отдельных случаях водонасыщенных глинистых грунтов.

Песчаные сваи **изготавливаются следующим образом**. В грунт вибратором или свайным молотом **погружается** пустотелая металлическая труба с инвентарным самораскрывающимся наконечником (**башмаком**). Диаметр трубы выбирается равным или несколько меньшим диаметра песчаной сваи. Труба имеет в верхней части **воронку**, через которую засыпается песок. После погружения трубы с закрытым **наконечником** (створки наконечника соединяются, и снизу на них надевается металлическое или веревочное кольцо) на проектную глубину через отверстие в верхней части трубы, или воронку, в нее **засыпается песок**. Если песчаная свая имеет длину до 5 м, песок засыпается в трубу на 0,8-1 м выше, чем проектная длина сваи, и труба медленно при работающем вибраторе поднимается (при длине сваи, большей 5 м, песок в трубу засыпается на более высокие прочностные и деформационные характеристики грунтов, чем до уплотнения грунтов ненарушенной структуры). Выбранная величина **коэффициента пористости является** основным показателем при проекте уплотнения грунтов песчаными сваями.

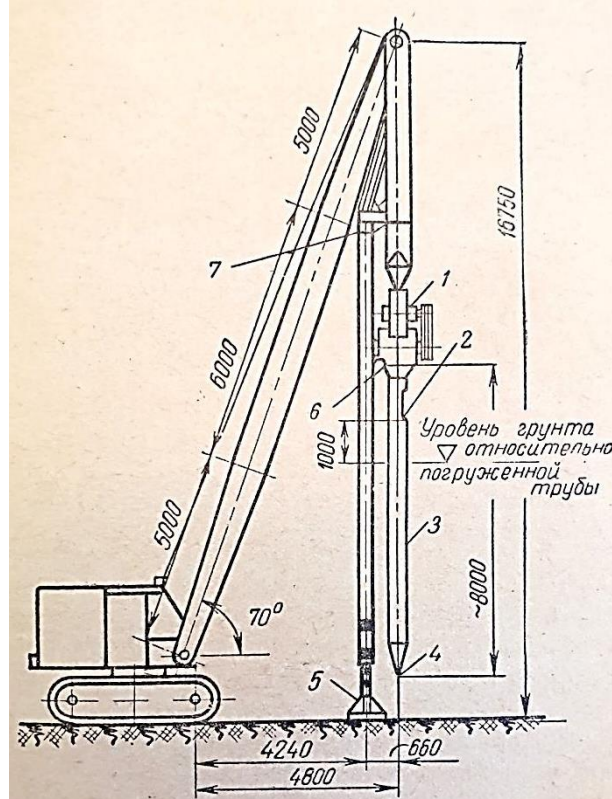


Рис. V-8. Схема установки для устройства песчаных свай:

1 — вибратор 102; 2 — загрузочное отверстие; 3 — обсадная труба $d = 325$ мм; 4 — инвентарный башмак; 5 — выдвижной упор; 6 — направляющая вибратора; 7 — направляющая мачта

Глубинное уплотнение

Уплотнение насыщенных водой песков, содержащих органические остатки или заторфованных, производят песчаными сваями. Для их изготовления в грунт погружают инвентарную трубу с раскрывающимся (рис. 12.5) или теряемым башмаком. Погружение производят забивкой или вибрированием (рис. 12.6, а). Затем в трубу укладывают порциями песок, трамбуют его и одновременно извлекают ее (рис. 12.5, б).

В просадочные лессовые грунты, способные держать вертикальные стенки без обсадной трубы, забивают инвентарный сердечник. В процессе забивки грунт вокруг сердечника уплотняется. Затем сердечник извлекают, а в образовавшуюся скважину укладывают порциями с тщательным трамбованием, как правило, местный грунт при оптимальной влажности. Это приводит к дополнительному уплотнению грунта вокруг скважин.

Рис. 12.5. Конструкция раскрывающегося башмака

1 — инвентарная труба; 2 — раскрывающиеся створки; 3 — шарнир; 4 — теряемое кольцо

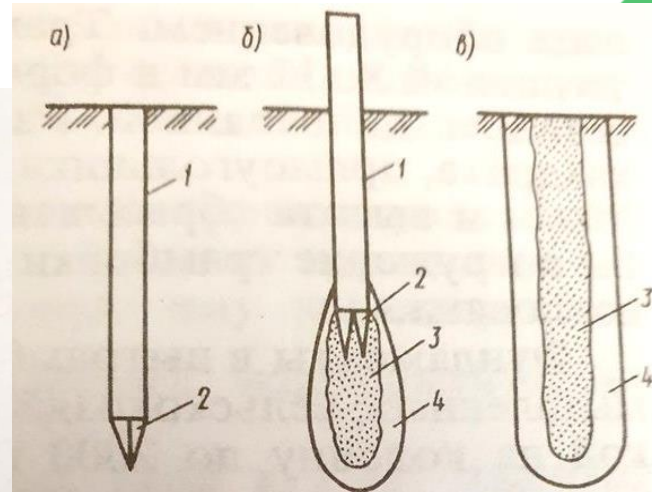
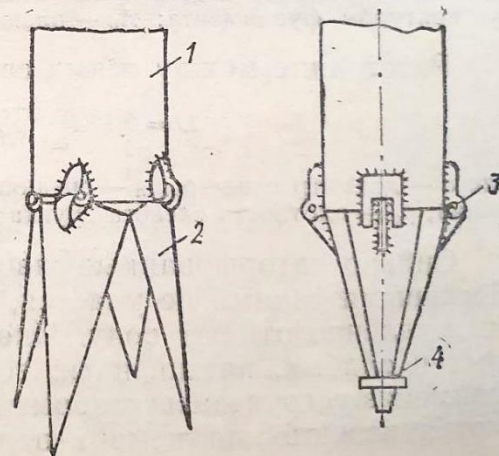


Рис. 12.9. Схема устройства песчаных свай:

а — погружение обсадной трубы; б — извлечение обсадной трубы и засыпка скважины песком; в — схема песчаной свай; 1 — обсадная труба; 2 — самораскрывающийся наконечник; 3 — песчаная свая; 4 — зона уплотнения

Глубинное уплотнение

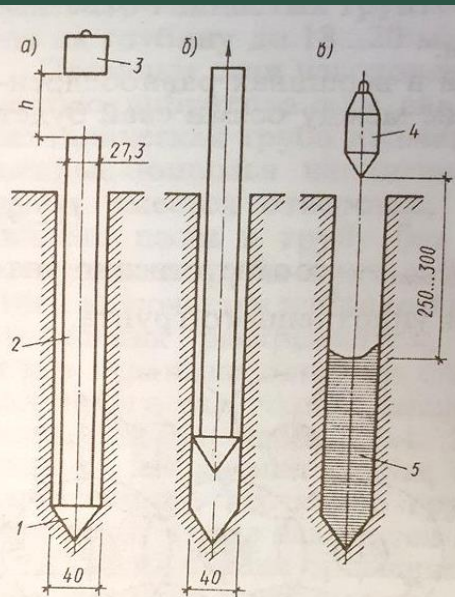


Рис. 12.11. Схема устройства грунтовых свай способом сердечника:

а — образование скважины забивкой инвентарной сваи; б — извлечение инвентарной сваи; в — заполнение скважины грунтом с трамбованием; 1 — инвентарный башмак; 2 — сердечник; 3 — молот; 4 — трамбовка; 5 — уплотненный грунт заполнения

Уплотнение основания грунтовыми сваями.

Область применения: **просадочные макropористые и насыпные** пылевато-глинистые грунты при степени водонасыщения 0,3-0,7, глубиной до 2 м.

Результат: устраивается массив уплотненного грунта с повышенной прочностью. Для просадочных грунтов **устраняются просадочные свойства**. Есть два метода:

1. В первом методе в уплотненном массиве пробивают **снарядом** скважины, используя станки ударно-канатного бурения или навесное оборудование. Диаметр скважины 0,4-1 м, диаметр зоны уплотнения — 1,4-3,6 м (рис. 12.11).

2. Второй метод основан на использовании **энергии взрыва**. Заряды ВВ массой 5-12 кгс размещают гирляндой в интервалах глубиной 3-12 м в устроенных шпурах диаметром 60-80 мм. После взрыва заряда образуется вертикальная полость диаметром 500-600 мм (рис. 12.12)). Засыпка скважины выполняется местным грунтом при влажности, близкой к оптимальной. Расстояние между грунтовыми сваями, их общее количество устанавливается расчетом.

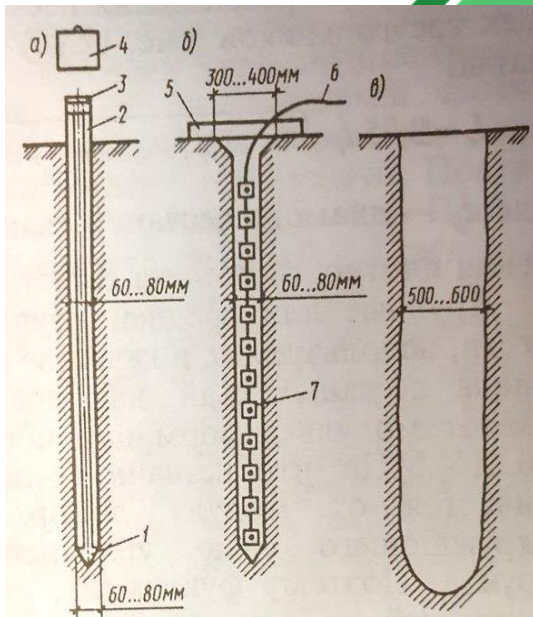


Рис. 12.12. Схема образования скважин энергией взрыва:

а — устройство скважины-шпура; б — скважина-шпур, подготовленная к взрыву; в — готовая скважина; 1 — башмак; 2 — буровая штанга; 3 — наголовник; 4 — молот; 5 — деревянный брусok для подвески заряда; 6 — детонирующий шнур; 7 — заряд ВВ

Глубинное уплотнение

Уплотнение грунтов статической нагрузкой. Если к поверхности водонасыщенного сильносжимаемого глинистого или торфяного грунта приложить статическую нагрузку, то в поровой воде возникнет напор. Движение воды в порах под действием этого напора ввиду малой водопроницаемости грунтов будет очень медленным. Если массив грунта насытить дренами, сообщающимися с безнапорными зонами, находящимися на поверхности, то отжатие избыточной воды будет ускорено и грунт достаточно быстро будет уплотнен (рис. 4.10, а, б).

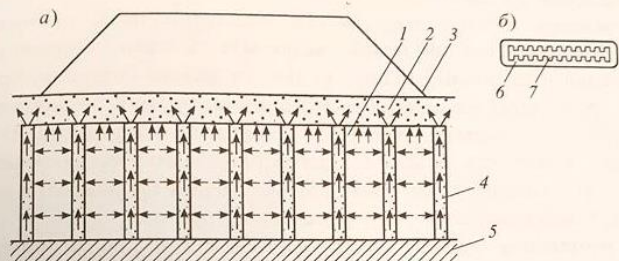


Рис. 4.10. Схема уплотнения слабого грунта статической нагрузкой:

а – уплотняемая толща грунта в разрезе; б – поперечное сечение пластмассовой дрены; 1 – слабый грунт; 2 – пластовый дренаж; 3 – нагрузка в виде насыпи; 4 – вертикальные дренажи; 5 – плотный грунт; 6 – бумажный или синтетический кожух; 7 – пластмассовая лента (поперечное сечение)

С целью уменьшения последующего развития осадок грунтов за счет ползучести скелета при уплотнении давление по подошве насыпи следует принять большим ожидаемого давления от сооружения, а после завершения основных фильтрационных осадок произвести частичную срезку насыпи. Аналитический и графический методы установления интервалов давлений на грунт для минимизации последующих деформаций изложены в [Сахаров И.И., 1976]¹.

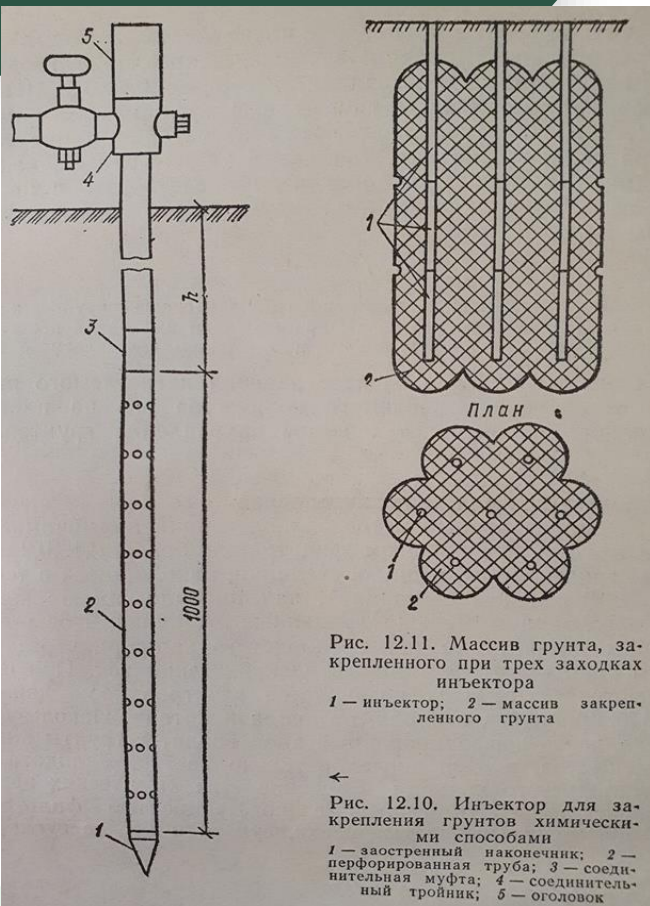
Вертикальные дренажи делают песчаными, из картона или пластмассовой ленты в бумажном кожухе. Песчаные дренажи изготавливают аналогично песчаным сваям, но располагают значительно реже – обычно через 2-4 м. Картонные и пластмассовые дренажи погружают до глубины 20 м специальными машинами.

В СССР песчаные дренажи впервые были применены Г.О.Графтио на Свирьстрое в 1930 г. С тридцатых годов этот способ широко применяется в Европе и США на объектах гидротехнического, дорожного и промышленного строительства.

Недостатком глубинного уплотнения грунтов статическими нагрузками с вертикальным дренированием является потребность в больших объемах грунта для создания насыпей, а также в песке (если применяются песчаные дренажи).

Расчетное обеспечение способа фильтрационного уплотнения грунтов статической нагрузкой заключается в оценке степени консолидации и величины осадки для любого момента времени. Кроме того, проектировщик должен располагать аппаратом, позволяющим варьировать размерами дренажей и расстояниями между ними. В настоящее время есть большое количество аналитических решений этих задач.

Физико-химические методы



Силикатизация грунтов. Химические растворы (силикаты натрия) легко проникают в поры песков и других грунтов, относительно хорошо фильтрующих воду. В настоящее время в строительной практике применяют два метода силикатизации грунтов — двухрастворный и однорастворный.

Двухрастворный метод силикатизации (автор Б.А. Ржаницын) используют для закрепления песков крупных и средней крупности, обладающих коэффициентом фильтрации от 80 до 2 м/сут, а также макропористых просадочных грунтов. При закреплении по этому методу в грунт последовательно нагнетают растворы **силиката натрия и хлористого кальция**. В результате взаимодействия этих растворов выделяется **гель кремниевой кислоты**, являющийся вяжущим веществом.

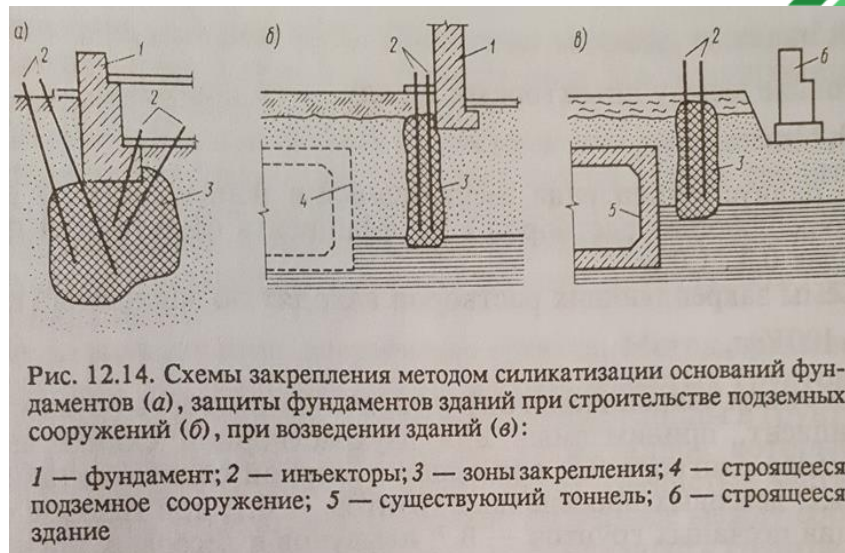
При двухрастворном методе в грунт забивкой или вибрированием погружают инъектор (рис. 12.10), через который в грунт нагнетают раствор силиката натрия. При толщине массива закрепляемого грунта более 1 м инъектор после подачи раствора в верхний слой погружают еще на 1 м и вновь нагнетают через него в грунт раствор силиката натрия. Такие операции повторяют до тех пор, пока низ инъектора не достигнет глубины, до которой необходимо закрепить грунт. Затем через этот же инъектор в грунт подают раствор хлористого кальция, поднимая инъектор по мере нагнетания раствора каждый раз на 1 м. В результате таких операций закрепляется столб грунта радиусом 30..60 см. Грунт в пределах необходимого объема (рис. 12.11) закрепляют. Закрепленный грунт обладает прочностью порядка 1,5-3,5 МПа.

Слабо фильтрующие грунты с коэффициентом фильтрации 5-0,3 м/сут (пески мелкие и пылеватые) и лессовые грунты закрепляют **однорастворным методом** силикатизации. Раствор состоит из **силиката натрия и фосфорной кислоты**. Это вещество медленно вступает в реакцию, поэтому до ее начала раствор можно нагнетать в грунт.

Физико-химические методы

Силикатизация грунтов. Силикатизация грунтов (двухрастворный и однорастворный методы) применяется для закрепления сухих и водонасыщенных песков, просадочных макropористых грунтов и некоторых видов насыпных грунтов. Наиболее часто эти методы используются для закрепления **оснований деформируемых зданий**, для защиты фундаментов при возведении подземных сооружений, а также для защиты фундаментов сооружений при строительстве в стесненных условиях (рис. 12.14).

В нашей стране по предложению В. Е. Соколовича применяют **газовую силикатизацию** песчаных и макropористых лессовых грунтов, основанную на использовании в качестве отвердителя жидкого стекла углекислого газа (диоксида углерода). Технология способа состоит в том, что в грунт через забитые иньекторы или специально оборудованные скважины нагнетается **углекислый газ** для предварительной активизации грунта, **затем раствор силиката натрия** и вторично **углекислый газ для отвердения**. Прочность закрепленных методом газовой силикатизации песков составляет 0,8... 1,5 МПа, лессовых грунтов - 0,8... 1,2 МПа.



В настоящее время существует много различных модификация химических растворов для закрепления песков и лессовых грунтов. Однако для иньекции всех растворов в грунт необходимо, чтобы коэффициент фильтрации был больше 0,1 м/сут. **К недостаткам метода** силикатизации следует отнести их высокую стоимость растворов. Кроме того, после высыхания силикатизированных лессовых грунтов они вновь становятся просадочными. Поэтому закрепленный грунт нужно защищать от высыхания.

Физико-химические методы

Глинизация и битумизация. Глинизация и битумизация применяются для уменьшения водопроницаемости трещиноватых **скальных пород**. Сущность глинизации заключается в том, что через инъектор диаметром 25-35 мм, погруженный в грунт, как и при силикатизации, нагнетается водная суспензия **бентонитовой глины** с содержанием монтмориллонита не менее 60%. Для лучшего заполнения пор глинистым раствором перед глинизацией в инъектор под давлением в несколько атмосфер нагнетается 10-20 дм³ воды. В настоящее время проводятся производственные опыты глинизации **макропористых просадочных** грунтов для предотвращения просадки путем заполнения макропор глинистым раствором.

Битумизация применяется в тех случаях, когда вследствие высоких скоростей течения грунтовых вод (100 м/сут и более) или их агрессивности невозможно произвести цементацию трещин или пустот в грунтах.

Смолизация. Растворы синтетических смол, способных твердеть в грунтах, можно нагнетать в их поры. После отвердения смол грунт превращается в достаточно твердое тело. В качестве вяжущего вещества в настоящее время широко применяют **карбамидную смолу с отвердителями**.

Карбамидную смолу используют для омоноличивания мелких и пылеватых песков с коэффициентом фильтрации 0,5...5 м/сут, а также для закрепления лёссовых грунтов. В качестве **отвердителя** используют, в частности, раствор соляной кислоты, соединяя с ним раствор карбамидной смолы непосредственно перед инъектированием.

В настоящее время известно несколько видов синтетических смол (фенольные, фурановые и др.), которые можно использовать для закрепления грунтов, в т. ч. получаемые из отходов производства.

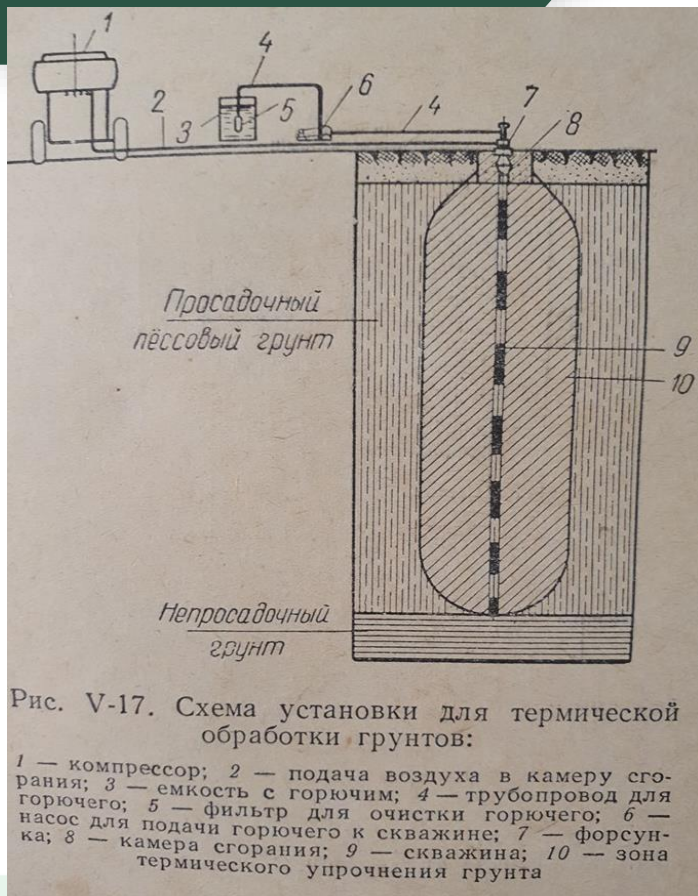
Электрохимическое закрепление

Если процесс электроосмоса протекает длительное время, в водонасыщенных глинистых грунтах происходят химические процессы, приводящие к упрочнению грунта (электрозакрепление). Под действием постоянного тока разрушаются электроды, и продукты разрушения, химически соединяясь с глинистыми частицами, увеличивают прочностные показатели глинистого грунта.

Кроме того, через трубу (анод) в грунт подают водные растворы солей многовалентных металлов, которые, соединяясь с глинистым грунтом, коагулируют глинистые частицы, в результате чего создаются глинистые агрегаты, сцементированные между собой гелями солей железа и алюминия.

Эффективность применения электрохимического закрепления существенно зависит от минералогического состава грунта и содержания солей в грунте природной структуры.

Физико-химические методы



Термический метод. Этот применяют для устранения просадочности и увеличения прочности лессов. Чаще всего его используют, если в результате случайного замачивания грунтов основания сооружение начинает получать нежелательные неравномерные осадки.

Сущность термического закрепления заключается в увеличении прочности структурных связей в грунте под влиянием высокой температуры. Для обжига грунта в пробуренных скважинах сжигают топливо (газообразное, жидкое или твердое), в качестве которого используют обычно природный и иные горючие газы, соляровое масло, мазут и др. С целью поддержания процесса горения в скважины подают **воздух под давлением**.

Подачу воздуха и топлива регулируют так, чтобы в скважинах поддерживалась температура около 800°C и проникающие в поры грунта горячие газы нагревали бы его до температуры не ниже 300°C . Эффективный обжиг лёссового грунта происходит в диапазоне температур $400-800^{\circ}\text{C}$. При температуре ниже 300°C устранение просадочных свойств лёссов не обеспечивается. При температуре выше 900°C происходит **спекание грунта** и оплывание стенок скважины (рис. У-17).

Обжиг грунта продолжается 5-10 дней. При расходе жидкого топлива 80-180 кг на 1м длины скважины вокруг нее образуется столб закрепленного грунта диаметром 1.5-3 м с кубиковой прочностью 1-3 МПа.

Стоимость закрепления грунта обжигом во много раз меньше стоимости силикатизации и электрохимического закрепления грунта.



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

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