

Тема 4. Методы преобразования строительных свойств грунтов

(п.17, приложение Г СП 45.13330.2017. Свод правил. Земляные сооружения, основания и фундаменты)

За последние годы наблюдается неуклонное увеличение объема строительства в сложных ИГУ. Все чаще для строительства используются площадки, сложенные слабыми грунтами – илистыми, рыхлыми песками, заторфованными отложениями. Особую проблему составляют т.н. региональные грунты, обладающие специфическими свойствами это:

- вечномёрзлые грунты;
- лессовые просадочные грунты;
- набухающие;
- засоленные грунты;
- озерно-ледниковые отложения.

Кратко рассмотрим их специфические свойства. Особое место занимают насыпные грунты – это толщи разнородных отложений, сформировавшееся в результате техногенной деятельности человека, а также создаваемые целенаправленно отсыпкой или намывом. Насыпные грунты очень разнообразны и использовать их в качестве основания следует с очень большой осторожностью.

Многие из этих грунтов в природном состоянии имеют невысокую несущую способность и повышенную сжимаемость. Для других характерно существенное ухудшение механических свойств при определенных воздействиях (например, замачивание лессовых грунтов под нагрузкой, оттаивание мерзлых грунтов, рассоление засоленных грунтов и т.д.) Недооценка этих явлений может привести к значительным деформациям основания к его просадкам и даже к потере устойчивости основания.

Учет этих явлений подразумевает улучшение строительных свойств таких грунтов многочисленными способами направленного воздействия. Методы преобразования строительных свойств основания можно разделить на три группы:

1. *Конструктивные методы*, которые не улучшают свойства самих грунтов, а создают более благоприятные условия работы их как оснований за счет регулирования напряженного состояния и условий деформирования, когда их отрицательные свойства не могут проявиться.
2. *Уплотнение грунтов*, осуществляется различными способами и направлено на уменьшение пористости грунтов, создание более плотной упаковки минеральных агрегатов.
3. *Закрепление грунтов*, заключающееся в образовании прочных искусственных структурных связей между минеральными частицами.

Выбор метода преобразования структурных свойств грунтов зависит от:

- типа грунта (его физических свойств);
- характеристик напластований;
- особенности будущего сооружения, т.е. интенсивности передаваемых им нагрузок;
- решаемых инженерных задач;
- технологических возможностей строительной организации.

Специфические свойства региональных грунтов

1. Илы: образовались в результате выпадения в осадок мельчайших частиц породы. Илистые грунты всегда находятся в водонасыщенном состоянии $S_r \approx 1$. В таком грунте имеются (преобладают) водно – коллоидные связи; кристаллизационные связи;

2. Лессовый грунт: это тот же ил, но в высушенном состоянии (просадочные грунты). Рыхлая структура – те же структурные связи, но нет воды.

3. Вечномерзлый грунт, свойства этих грунтов существенно зависят от их температуры. При ее увеличении, т.е. оттаивании, также грунты дают (также как лесс) мгновенную просадку, а при промораживании наблюдается морозное пучение. Строительство на таких грунтах ведется специальными методами:

- либо сохранение вечной мерзлоты;
- либо специального оттаивания и уплотнения;
- либо применение специальных схем зданий не боящихся осадок.

4. Заторфованные грунты – грунты, содержащие от 30 до 60 % органических веществ, эти грунты обладают малой прочностью, и большой, а главное, неравномерной сжимаемостью.

В погребенном торфе можно строить, но не в коем случае не дорывать до торфа (гниение) и проверяется несущая способность (подстилающий торфяной слой).

5. Набухающие глины – увеличивают свой объем при замачивании.

6. Засоленные грунты - при засолении резко снижают свою прочность и увеличивают сжимаемость (в местах где возникает постоянная фильтрация воды следует вымывание соли).

7. Озерно-ледниковые отложения (ленточные глины).

Исторический процесс их образования выглядит следующим образом: водный поток несет крупные частицы и они выпадают в осадок. Когда скорость воды снижается выпадают мелкие частицы до того пребывавшие во взвеси и т.д. с течением времени образуется ритмичная горизонтальная слоистость. Глинистые прослойки водонасыщенны за счет такой структуры

(глинистых прослоек) они очень хорошо пропускают воду в горизонтальном направлении, а в вертикальном коэффициент фильтрации k_f достаточно мал.

Если ленточные глины перемять, то они переходят в текуче- пластичное состояние, за счет освобождения воды из глинистых прослоек.

Конструктивные мероприятия:

1. Замена грунта основания (грунтовые подушки);
2. Шпунтовые ограждения;
3. Армирование грунтов;
4. Боковые пригрузки;

Грунтовые подушки

Если в основании залегают слабые грунты и их использование оказывается невозможным или нецелесообразным, то возможно экономичной может оказаться замена слабого грунта другим, т.е. применяют т.н. грунтовые подушки.



Рис. 4.1. Устройство песчаной подушки, заменяющей слабый грунт

Шпунтовые конструкции

Используются для улучшения условий работы грунтов как ограждающие элементы в основания сооружений.

Шпунт погружают через толщу слабых грунтов в относительно плотный грунт. И на песчаной подсыпке (дренирующий слой) в сопряжении со шпунтовым ограждением устраивается сооружение.

Такое техническое решение исключает возможность выпирания грунта в сторону из-под фундамента, т.е. увеличивает его несущую способность.

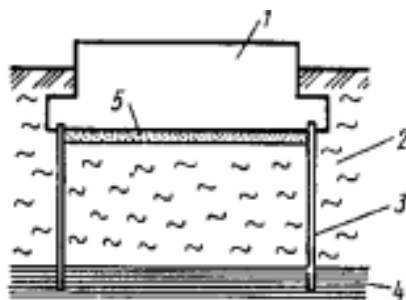


Рис. 4.2. Усиление основания с помощью шпунтового ограждения:

- 1 – фундамент; 2 – слабый грунт; 3 – шпунтовое ограждение; 4 – плотный грунт; 5 –песчаная подушка (дренирующий слой)

Армирование грунта

Метод армирования грунта заключается в введении в него специальных, армирующих элементов, уменьшающих его сжимаемость и увеличивающих его прочность. Армирование производится в виде лент или сплошных матов, выполненных из геотекстиля. Реже используется металлическая арматура. Армирующие элементы должны обладать достаточной прочностью и обеспечивать необходимое зацепление с грунтом, для чего их поверхность делается шероховатой.

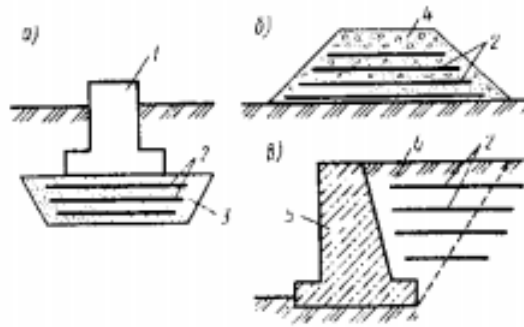


Рис. 4.3. Армирование грунта в искусственном основании фундамента (а), при устройстве насыпи (б), при воздействии насыпок (в):

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

Боковые пригрузки

Устройством пригрузок основания и нижней части откосов можно повысить устойчивость откосов, а также основание грунта под ее подошвой. Пригрузки выполняются из крупнообломочных или песчаных грунтов

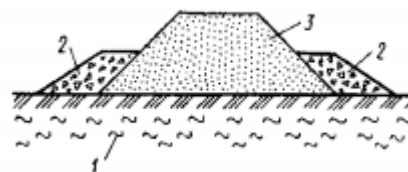


Рис. 4.4. Увеличение устойчивости насыпи на слабых грунтах методом боковой пригрузки: 1 – слабый грунт; 2 – боковая пригрузка; 3 – насыпь

Уплотнение грунтов

Методы уплотнения грунтов подразделяют на:

- поверхностные, когда уплотняющие воздействия прикладываются на поверхности и приводят к уплотнению сравнительно небольшой толщи грунтов;

- глубинные, когда уплотняющие воздействия передаются значительные по глубине участки грунтового массива.

Поверхностное уплотнение производится:

- укаткой;
- трамбовкой;
- вибрационными механизмами (виброуплотнением);
- подводными взрывами;
- вытрамбовыванием котлованов.

К методам *глубинного уплотнения* относят

- устройство песчаных, грунтовых и известковых свай;
- глубинное виброуплотнение;
- уплотнение статической пригрузкой в сочетании с устройством вертикального дренажа;
- водопонижение;
- глубинные (камуфлетные взрывы зарядов ВВ или электровзрывы).

Уплотнение грунта обычно производится до определенной степени плотности, выражаемой через коэффициент уплотнения k_{com} , представляющий собой отношение заданного или фактически полученного значения плотности сухого уплотненного грунта ρ_d к его максимальному значению по стандартному уплотнению $\rho_{d,max}$, т.е. $k_{com} = \frac{\rho_d}{\rho_{d,max}}$.

Каждому значению коэффициента уплотнения соответствует определенный диапазон допускаемого изменения влажности уплотняемого грунта, за который принимаются крайние значения влажности по кривой

стандартного уплотнения (см. рис. 4.5) или отношение крайних значений влажности W к оптимальной W_0 , т.е. $k_{com} = \frac{W}{W_0}$.

На рисунке 4.6 приведены графики, иллюстрирующие процесс уплотнения грунта при цилиндрических уплотняющих воздействиях (укатке, трамбовке).

Уплотняемость грунтов определяется по методике стандартного уплотнения [ГОСТ 22733-2002 Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности]. По результатам стандартного уплотнения строится график зависимости плотности сухого грунта от влажности (рис. 4.5). Из графика видно, что максимальное значение плотности сухого грунта достигается при определенной его влажности, называемой *оптимальной*.

Уплотняемость грунтов, в значительной степени зависит от их влажности и определяется максимальной плотностью скелета уплотняемого грунта $\rho_{d,max}$ и оптимальной влажностью W_{opt}

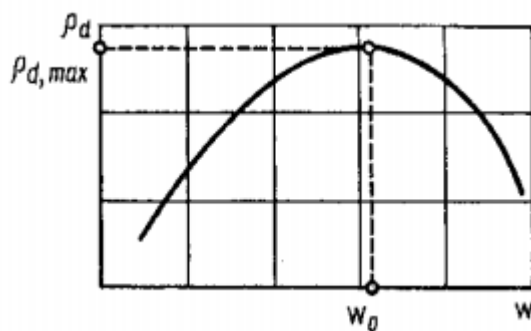


Рис. 4.5. Зависимость плотности скелета уплотняемого грунта от влажности при стандартном уплотнении

Максимальна плотность уплотненного грунта — это наибольшее значение плотности сухого грунта, достигаемое при оптимальной влажности и принятых режимах, методах и энергии уплотнения.

Оптимальная влажность – влажность при которой достигается максимальная плотность уплотненного грунта и требуется наименьшая затрата работы для достижения максимальной плотности грунта при заданном режиме уплотнения. Оптимальную влажность глинистых грунтов, уплотняемых трамбованием рекомендуется принимать $W_0 = W_p - (0,01 \div 0,03)$, а укаткой $W_0 = W_p$, где W_p - влажность на границе раскатывания.

При уплотнении грунтов максимальная степень плотности достигается на поверхности приложения уплотняющего воздействия, а по глубине и в стороны снижается. В связи с этим выделяются *зона распространения уплотнения* и *уплотненная зона грунта*.

Зона распространения уплотнения представляет собой толщу грунта h'_{com} в пределах которой происходит повышение его плотности. Эта зона распространяется от уплотненной поверхности на глубину, на которой плотность сухого грунта повышается не менее чем на $0,02 \text{ т/м}^3$ ($0,2 \text{ кН/м}^3$) по сравнению со значением ее до уплотнения.

За *уплотненную зону* принимают толщу грунта, в пределах которой плотность сухого грунта не ниже заданного или допустимого ее минимального значения.

Уплотнение грунтов сопровождается не только повышением степени его плотности, но и соответствующим понижением уплотненной поверхности (рис. 4.6).

Укатка и вибрирование

Уплотнение грунтов укаткой применяется для всех видов песчаных, глинистых, крупнообломочных грунтов на свободных участках и при большом фронте работ, обеспечивающих достаточную маневренность механизмов.

Уплотнение укаткой производится самоходными и прицепными катками на пневматическом ходу, груженными скреперами, автомашинами, тракторами. Помимо укатки используют виброкатки и самопередвигающиеся вибромашины.

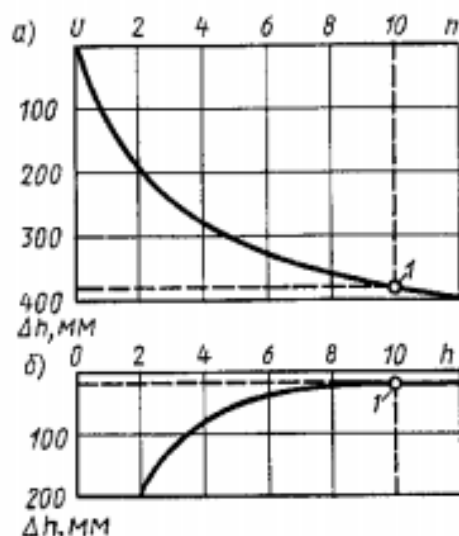


Рис. 4.6. Понижение уплотняемой поверхности в зависимости от числа ударов (проходов): а - от общего числа ударов; б - от каждых двух ударов; 1 - точка уплотнения до отказа

Укаткам можно уплотнить грунты только на очень небольшую глубину, поэтому этот метод в основном применяется при послойном возведении грунтовых подушек, планировочных насыпей, земляных сооружений, при подсыпке оснований под полы. Уплотнение достигается многократной проходкой уплотняющих механизмов. Влажность грунтов при этом должна соответствовать оптимальной.

За уплотненную зону h_{com} принимают толщину грунта, в пределах которой плотность скелета грунта ρ_d не ниже заданного в проекте или допустимого её минимального значения. Уплотнение оптимальной толщины уплотняемого слоя грунта и числа проходов используемых механизмов производится на основании опытных работ.

Трамбовка

Ручные легкие трамбовки (при ограниченном фронте работ).

Тяжелые трамбовки.

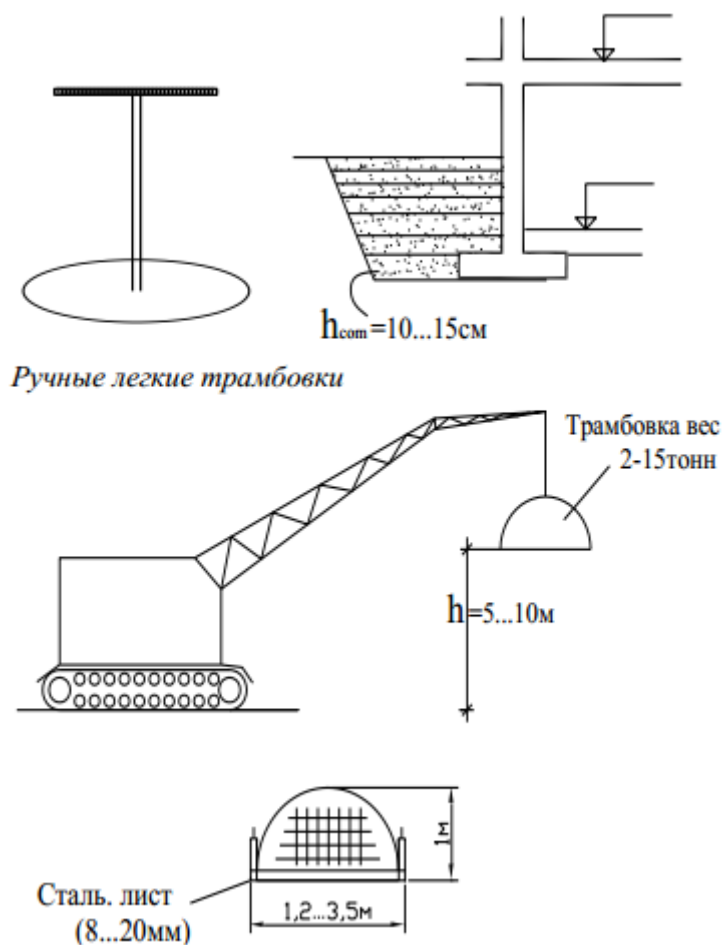


Рис. 4.7. Ручные легкие и тяжелые трамбовки

Тяжелая трамбовка изготавливается из ж/б и имеет в плане форму круга или многоугольника (>8 сторон). Применяется для уплотнения всех видов грунтов в природном залегании (пылевато-глинистых при $S_r < 0,7$), а также искусственных оснований и насыпей.

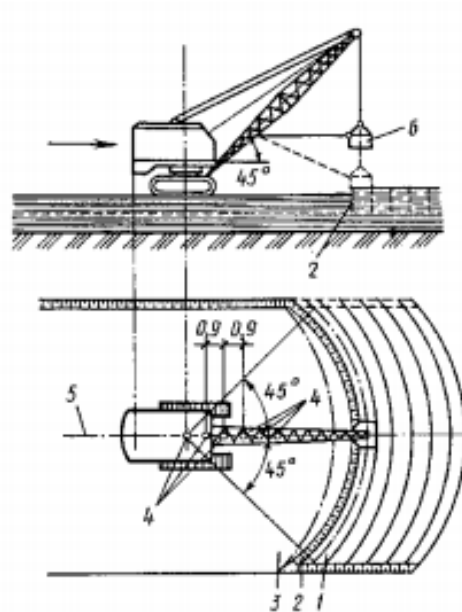


Рис. 4.8. Схема поверхностного уплотнения грунта тяжелой трамбовкой.

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

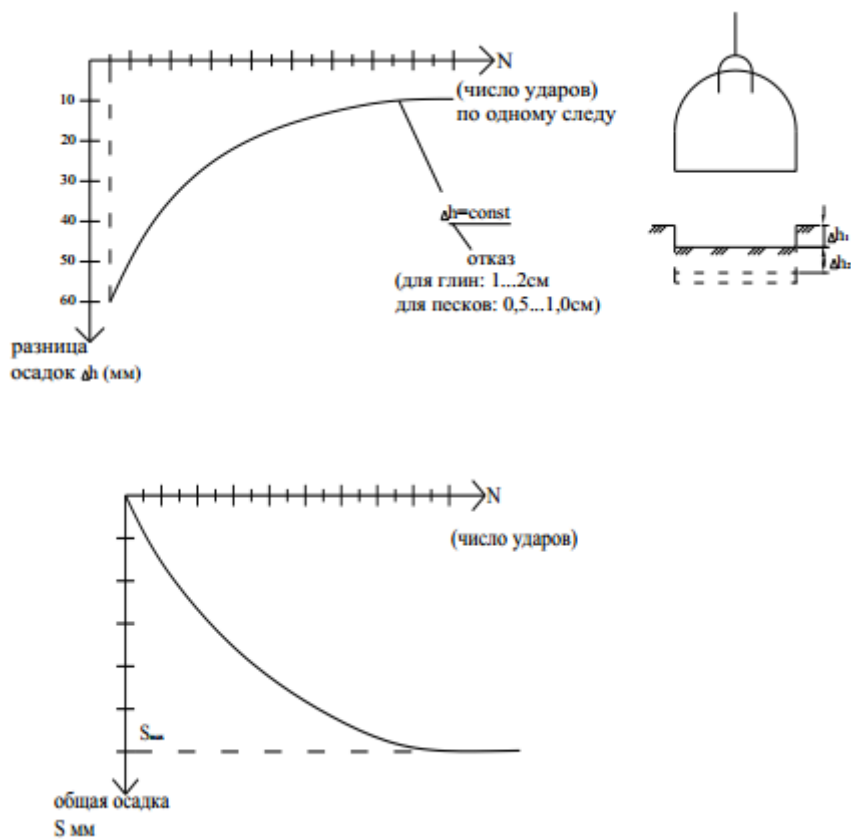


Рис. 4.9.

$$h'_{com} \approx k_c \cdot d_{mp},$$

где k_c - коэффициент (для песков, супесей $k_c=1,8$; для суглинков и глин $k_c=1,5$);

d_{mp} - диаметр трамбовки.

Имеется опыт применения сверхтяжелых трамбовок весом >40 т, сбрасываемых с высоты до 40м.

Часто уплотнение производится до определенной степени плотности, выражаемой через коэффициент уплотнения k_{com} , равный отношению заданного или фактически полученного значения плотности скелета уплотненного грунта $\rho_{d,com}$ к его максимальному значению по стандартному

уплотнению, т.е. $k_{com} = \frac{\rho_{d,com}}{\rho_{d,max}}$. При этом k_{com} принимают $\approx 0,92 \dots 0,98$.

Трамбование производится с перекрытием следов (рис.4.8).

Подводные взрывы

применяются для уплотнения рыхлых песчаных грунтов или макропористых просадочных. Наибольший эффект при $S_r=0,7 \dots 0,8$



Рис. 4.10. Схема уплотнения рыхлых песчаных грунтов подводными взрывами

За счет энергии взрыва уплотнение происходит примерно на $h=0,3 \dots 0,5$ (м),

$h_{общ}=1 \dots 4$ (м).

Суть метода заключается в использовании энергии взрыва, производимого в водной среде, для разрушения структуры и уплотнения грунтов.

Водная среда, с одной стороны, обеспечивает более равномерное распределение уплотняющего взрывного воздействия по поверхности грунта, с другой стороны – гасит энергию взрыва, направленную вверх.

Вытрамбовывание котлованов

Метод заключается в образовании в грунтовом массиве полости путем сбрасывания в одно и то же место трамбовки, имеющей форму будущего фундамента. Затем полость заполняется бетонной смесью.

Метод эффективен тем, что во время вытрамбовывания, грунт вокруг образуемой полости уплотняется, за счет чего увеличивается несущая способность основания и снижается деформируемость, а сооружение монолитной фундаментной конструкции не требует применения опалубки.

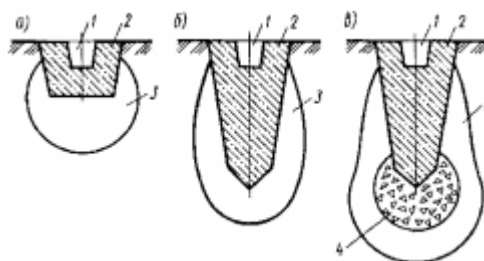


Рис. 4.11. Схемы устройства методом вытрамбовывания котлованов фундаментов с плоской подошвой (а), с заостренной подошвой обычного типа (б) и с уширенным основанием (в): 1 – стакан для установки колонны; 2 – фундамент; 3 – зона уплотнения; 4 – втрамбованный жесткий грунтовый материал

Вытрамбовывание выполняют путем сбрасывания трамбовки весом 1,5...10т (до 15т) по направляющей мачте с высоты 3...8(м) в одно место (\approx 10...20 ударов).

Трамбовку изготавливают из листовой стали толщиной 8...10(мм) в форме будущего фундамента и заполняют ее бетоном до заданной массы.

Такой способ устройства фундаментов позволяет сократить объем земляных работ в 3...5 раз, практически полностью исключить опалубочные работы, снизить расход бетона в 2...3 раза, металла в 1,5...4 раза, а стоимость и трудоемкость уменьшить в 2...3 раза.

$$\gamma_{d,\max} = 16,5 \dots 17,5 \text{ кН/м}^3.$$

Песчаные сваи

применяются для уплотнения сильно сжимаемых пылевато-глинистых грунтов, рыхлых песков, заторфованных грунтов на глубину до 18...20(м). (см. рис. 4.12)

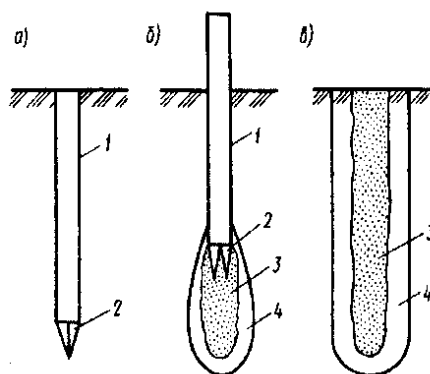


Рис. 4.12. Схема устройства песчаных свай:

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

Применяется также метод «свая в сваю». Суть его заключается в том, что после того, как инвентарная труба извлечена из грунта, створки наконечника закрывают, и труба повторно погружается в тело уже устроенной сваи (получается погрузить до $0,8h_{св}$), снова засыпается порцией песка, и труба постепенно извлекается.

Получившиеся песчаные сваи, помимо уплотнения грунта, играют роль вертикальных дрен, за счет чего существенно ускоряется процесс консолидации водонасыщенных глинистых оснований.

Сваи размещают обычно в шахматном порядке с пересечением зон уплотнения.

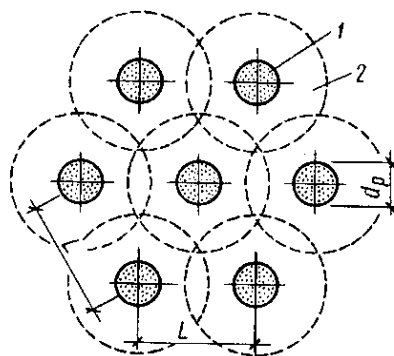


Рис. 4.13. Схема размещения песчаных свай в плане:

1 – песчаная свая; 2 – зона уплотнения

Грунтовые сваи

применяются для уплотнения и улучшения строительных свойств просадочных макропористых и насыпных пылевато-глинистых грунтов на глубине до 20(м).

Суть метода: устраивается вертикальная скважина (полость) путем погружения металлической трубы (пробойника) $d \approx 40(\text{см})$, которая затем засыпается местным грунтом с послойным уплотнением.

В результате образуется массив уплотненного грунта, характеризующийся повышенной прочностью и более низкой сжимаемостью, в просадочных грунтах устраняются просадочные свойства.

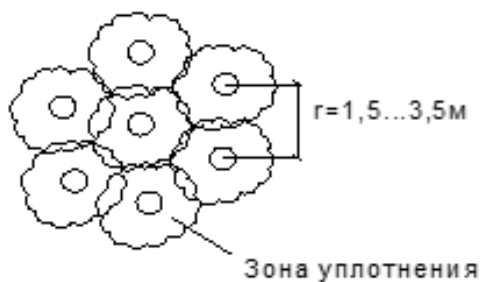


Рис. 4.14. Схема расположения грунтовых свай

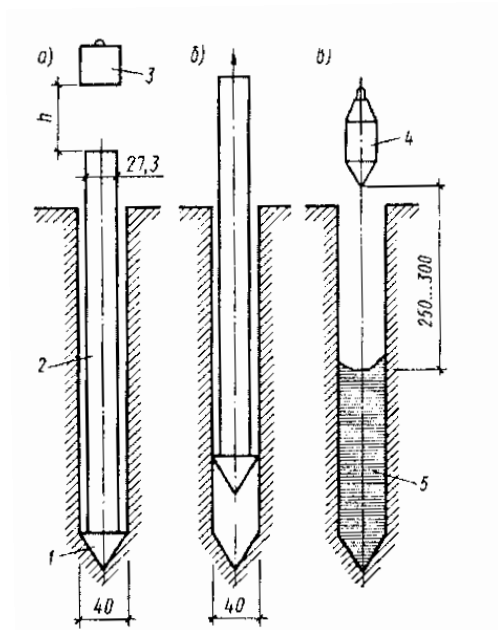


Рис.4.15. Схема устройства грунтовых свай способом сердечника:

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

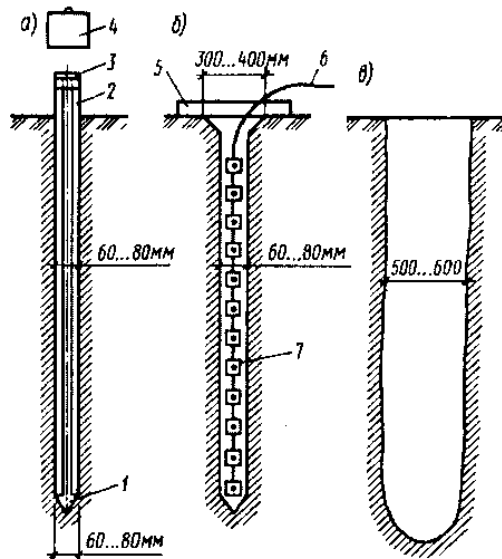


Рис.4.16. Схема образования скважин энергией взрыва:

а – устройство скважины – шпура; б – скважина – шпур, подготовленная к взрыву; в – готовая скважина; 1 – башмак; 2 – буровая штанга; 3 – наголовник; 4 – молот; 5 – деревянный брусок для подвески заряда; 6 – детонирующий шнур; 7 – заряд взрывчатых веществ (ВВ).

Известковые сваи применяются для глубинного уплотнения водонасыщенных глинистых и заторфованных грунтов. Устраивают их также как грунтовые или песчаные сваи.

Пробуренную скважину $d_{скв}=320...500$ (мм) (или с обсадной инвентарной трубой) заполняют негашеной комовой известью трамбованием.

Негашеная известь (при взаимодействии с поровой водой) гасится и в процессе гашения увеличивается в объеме. Общее увеличение объема сваи (за счет трамбования и гашения) составляет 1,6...2 раза.

Температура тела сваи при гашении достигает $160^{\circ}...300^{\circ}C$. Соответственно происходит частичное испарение поровой воды, в результате чего уменьшается влажность грунта (осушение примыкающей зоны) и ускоряется уплотнение.

Также происходит физико-химическое закрепление грунта в зонах, примыкающих к поверхности свай, увеличиваются прочностные и деформационные характеристики грунта.

Стоимость известковых свай довольно низкая, поэтому они относятся к одним из самых дешевых способов улучшения свойств слабых водонасыщенных оснований.

Глубинное виброуплотнение

Применяют для уплотнения рыхлых песчаных грунтов естественного залегания, а также при укладке насыпных несвязных грунтов, устройстве обратных засыпок и т.п.

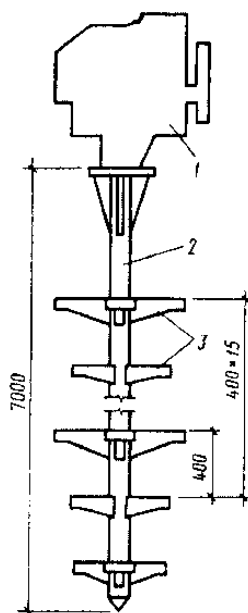


Рис.4.17. Схема виброустановки ВУУП – 6:

1 – вибропогружатель В – 401; 2 – трубчатая штанга; 3 – стальные ребра

При вибрации в сыпучих грунтах связь между частицами нарушается, и они начинают перемещаться под действием инерционных сил вибрации и сил тяжести. В результате грунты уплотняются.

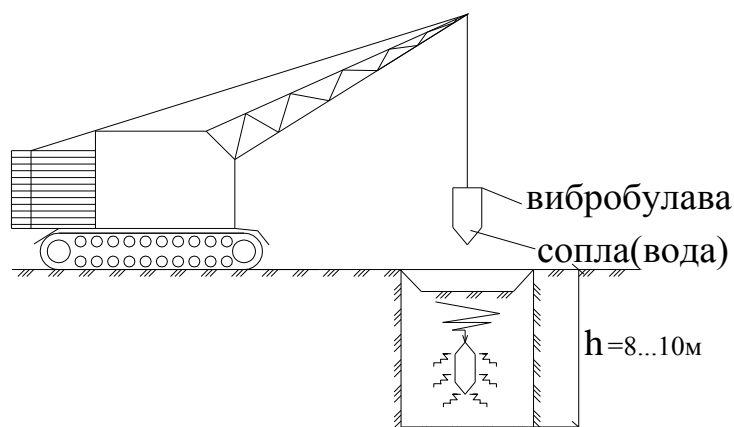


Рис. 4.18. Схема уплотнения вибробулавой

Эффективность уплотнения повышается при подаче в зону уплотнения воды (гидровиброуплотнение – подача воды через сопла в вибробулаве). Достигают уплотнения до $\gamma_{d,\max} = 17...18(\text{кН} / \text{м}^3)$.

Существует два основных способа виброуплотнения:

- В первом способе уплотнение происходит при погружении в песок вибратора (вибробулавы).
(Уплотнение рыхлых песков мощностью до 8...10м)
- Второй способ заключается в погружении в грунт стержня с прикрепленным к его голове вибратором.

Предварительное уплотнение оснований статической нагрузкой

Используют для уплотнения (улучшения строительных свойств) слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов и торфов, но на небольших площадках.

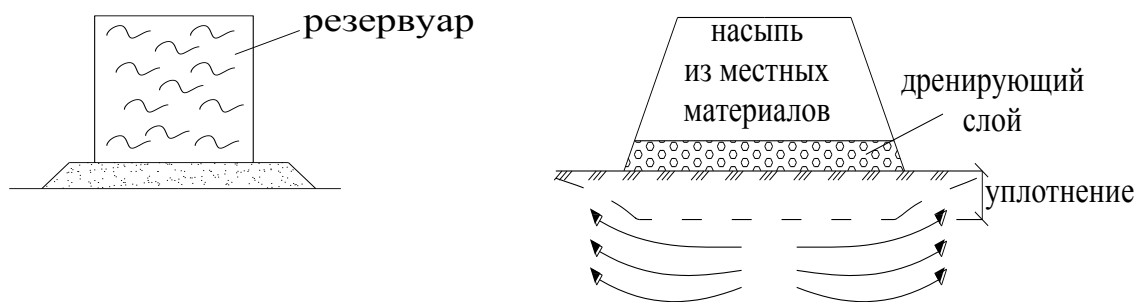


Рис. 4.19. Схема уплотнения статической нагрузкой

Нельзя передавать большую нагрузку моментально, иначе произойдет выпор.

$$\tau_{пред} = \bar{\sigma} \times \operatorname{tg} \varphi + c$$

$$\tau \leq \tau_{пред}$$

$\bar{\sigma}$ - эффективное давление

$$\sigma = \bar{\sigma} + \bar{u}$$

При $\bar{\sigma} \quad t = \infty$; при $\bar{u} \quad t = 0$

Давление под насыпью должно быть не менее давления будущего сооружения, т.к. высота насыпей ограничена, этот метод как правило применяют при строительстве сооружений, передающих относительно небольшие давления на основание – это малоэтажные здания, ж/д полотна, автодороги, взлетно–посадочные полосы, резервуары и т.п.

Т.к. при использовании этого метода при уплотнении слабых грунтов мощностью $> 10\text{м}$ требуется длительное время (для завершения процессов консолидации и стабилизации осадок). Для ускорения процесса уплотнения используют вертикальные дрены различных конструкций:

- Песчаные дрены
- Бумажные комбинированные дрены и др.

также применяют электроосмос

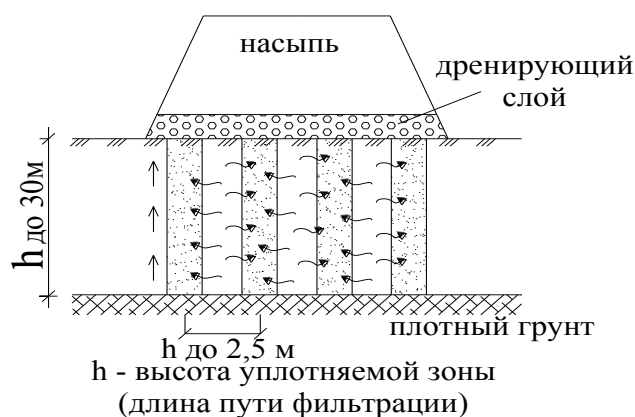


Рис. 4.20. Схема уплотнения грунтов с помощью вертикальных дрен

Время уплотнения грунтов t обратно пропорционально коэффициенту фильтрации K_f и квадрату высоты зоны уплотнения - h^2 .

$t=f(K_f; h^2)$ – за счет изменения K_f многократно уменьшается время.

Технология устройства вертикальных песчаных дрен аналогична технологии изготовления песчаных свай.

Бумажные комбинированные дренажи имеют поперечное сечение 4×100 мм и состоят из полимерного жесткого ребристого сердечника и фильтрующей оболочки.

Дрена вводится в грунт в обсадной трубе прямоугольного сечения статическим вдавливанием (на глубину до 20м) их шаг 1,5 – 3,0м (для песчаных) и 0,6 – 1,5м (для бумажных комбинированных).

Уплотнение грунта водопонижением

Метод эффективен при уплотнении водонасыщенных грунтов (лучше мелкие или пылеватые пески) на больших площадях.

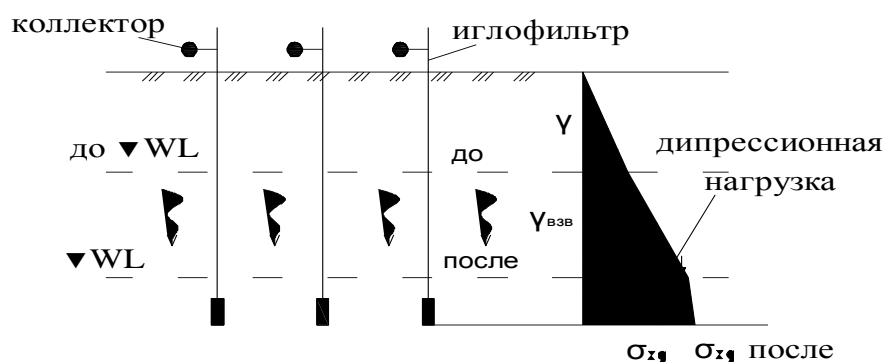


Рис. 4.21. Схема уплотнения грунтов с помощью водопонижения иглофильтрами

Для этого площадку, на которой предполагается уплотнить грунт, окружают (протыкают) иглофильтрами при $K_f=0,05\dots0,002$ см/с или при $K_f<0,002$ см/с – ижекторные иглофильтры (понижение УГВ до глубины 25м) или с помощью электроосмоса.

Понижение УГВ приводит к снятию взвешивающего действия воды на скелет грунта. В объеме грунта возникает дополнительная массовая сила равная разнице $\gamma - \gamma_{взв}$, которая вызывает уплотнение грунтового массива.

Закрепление грунтов

Базируется на искусственном преобразовании строительных свойств грунтов (создание более прочных связей между частицами) в условиях их естественного залегания разнообразными физико-химическими методами.

Это достигается за счет инъецирования в грунт и последующего твердения определенных реагентов. Важным условием применимости инъекционных методов закрепления является достаточно высокая проницаемость грунтов.

Цементация

Метод служит для закрепления (упрочнения) насыпных грунтов, галечниковых отложений, средних и крупнозернистых песков (сухих и влажных при $K_{\phi} > 80$ м/сутки). Так же используют для заполнения карстовых пустот, закрепления и уменьшения водопроницаемости трещиноватых скальных грунтов.

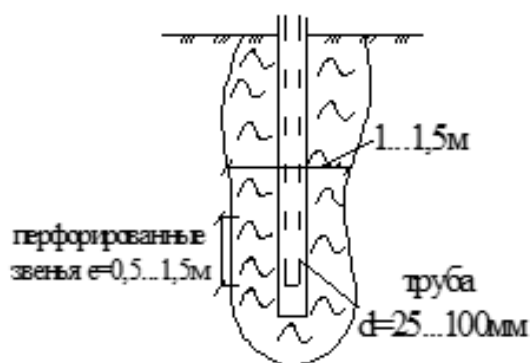


Рис. 4.22. Схема цементации

Цементный раствор нагнетаемый в грунт имеет В/Ц отношение 0,4...1,0, часто в раствор добавляют песок.

Применяют забивные иньекторы – тампоны, опускаемые в пробуренные скважины. Цементация возможна и в водонасыщенных грунтах, но там, где вода стоячая; если есть течение, то цементный раствор уносит.

Метод цементации применим также для усиления конструкций самих фундаментов. Для этого в теле фундамента пробуривают шпур, через которые в материал или кладку фундамента под высоким давлением нагнетается цементный раствор.

Силикатизация

Применяется для химического закрепления песков с $K_{\phi}=0,5\dots 80$ м/сут, макропористых глинистых просадочных грунтов с $K_{\phi}=0,2\dots 2$ м/сут (лессы), и отдельных видов насыпных грунтов.

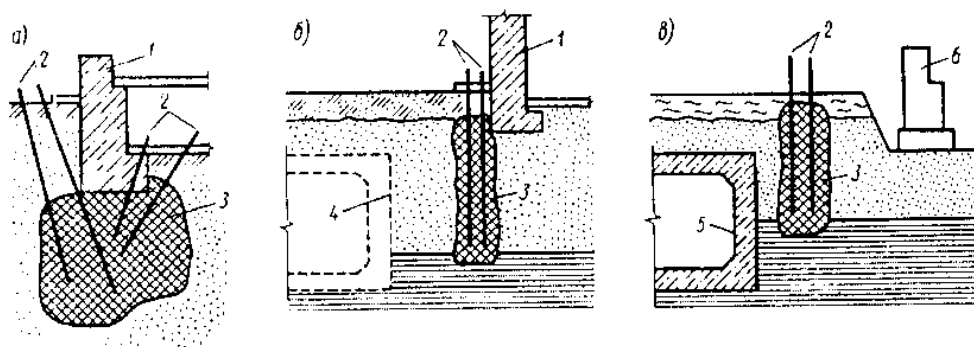


Рис.4.23. Схема закрепления методом силикатизации оснований фундаментов (а), защиты фундаментов зданий при строительстве подземных сооружений (б) ,при возведении зданий (в):

1 – фундамент; 2 – иньекторы; 3 – зоны закрепления; 4 – строящееся подземное сооружение; 5 – существующий тоннель; 6 – строящееся здание

Сущность метода заключается в нагнетании в грунт силиката Na в виде раствора (жидкое стекло), которым заполняется поровое пространство. При соответствующих условиях (при наличии отвердителя), раствор переходит в гелеобразное состояние, затвердевая со временем. Создаются новые связи между частицами, что приводит к увеличению прочности уменьшению сжимаемости грунта.

Силикатизация:

- однорастворная (лессовый грунт)
- двухрастворная (пески)

Особенностью силикатизации лессов является то, что в состав этих грунтов входят соли, выполняющие роль отвердителя жидкого стекла. Процесс закрепления происходит мгновенно, достигаемая прочность

составляет 2МПа и более. Закрепление водоустойчиво, что обеспечивает ликвидацию просадочных свойств лессов.

Однорастворная силикатизация:



$Na_2O \cdot nSiO_2$ - жидкое стекло;

$CaSO_4$ - соли в лессовом грунте;

$nSiO_2(m-1)H_2O$ – гель кремниевой кислоты;

n — число молекул SiO_2 .

Двухрастворный способ заключается в следующем. В грунт погружаются инъекторы (трубы $d=38$ мм) с нижним перфорированным звеном, длиной 0,5...1,5м. Через них в пески нагнетается раствор силиката натрия под давлением 1,5 МПа. Через соседнюю трубу, погруженную на расстоянии 15...25см, нагнетают раствор хлористого кальция.

Иногда оба раствора начинают поочередно через один и тот же инъектор (первый - раствор при его погружении, второй - раствор при извлечении).

После твердения геля прочность достигает 2...5МПа.



$Na_2O \cdot nSiO_2$ – 1-ый раствор. Жидкое стекло;

$CaCl_2$ - 2-ой раствор. Хлористый кальций;

$nSiO_2(m-1)H_2O$ – вязкий материал, гель кремниевой кислоты.

Регулируя состав отвердителя можно в широких пределах варьировать время гелеобразования (от 20...30мин. до 10...16ч.). На полное твердение геля требуется 28 дней.

Увеличение времени гелеобразования необходимо в малопроницаемых грунтах, где для обеспечения необходимого радиуса закрепления требуется длительное время на проникновение раствора.

Смолизация – закрепление грунтов смолами. Сущность метода заключается во введении в грунт высокомолекулярных органических соединений типа карбамидных, фенолформальдегидных и других синтетических смол в смеси с отвердителями – кислотами, кислыми солями.

Через определенное время в результате взаимодействия с отвердителями смола полимеризуется.

Время гелеобразования 1,5...2,5 часа, полное упрочнение происходит после двух суток. Смолизация эффективна в сухих и водонасыщенных песках с $K_{\phi}=0,5-25$ м/сут.

Достижимая прочность колеблется в пределах 1...5 МПа и зависит в основном от концентрации смолы в растворе.

Организация работ аналогична силикатизации. Радиус закрепленной зоны составляет 0,3...1,0м и зависит от K_{ϕ} . Метод относится к числу дорогостоящих.

Глинизация и битумизация

Глинизацию применяют для уменьшения водопроницаемости песков. Через инъекторы в песок нагнетается водная суспензия бентонитовой глины с содержанием монтмориллонита $\geq 60\%$. Глинистые частицы, выпадая в осадок, заполняют поры песка, в результате чего его водопроницаемость снижается в несколько порядков.

Битумизацию применяют в основном для уменьшения водопроницаемости, закрепления трещиноватых скальных пород, при подземном течении вод.

Через скважины в скальный массив нагнетается расплавленный битум (или специальные его эмульсии). Происходит заполнение трещин и массив становится практически водонепроницаемым.

Термическое закрепление грунтов (обжиг)

Применяют для упрочнения сухих макропористых пылевато-глинистых грунтов, обладающих газопроницаемостью (лессы).

Сущность: через грунт в течение нескольких суток (5...12 суток) пропускают раскаленный воздух или газы. Под действием высокой температуры ($t \approx 800^\circ\text{C}$) отдельные минералы, входящие в состав скелета, оплавляются. В результате этого образуются прочные водостойкие структурные связи между частицами.

При обжиге грунты теряют большую часть химически связанной воды, что уменьшает просадочность, размокаемость, способность к набуханию. В результате термической обработки получается упрочненный конусообразный массив грунта d поверху 1,5...2,5м понизу 0,2...0,4м глубина 8...10м.

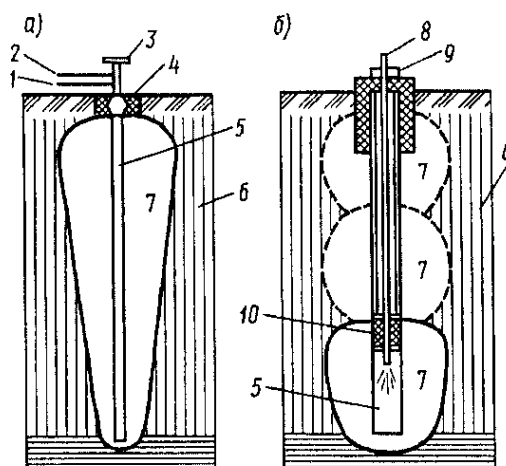


Рис.4.24. Схемы термического закрепления грунтов при сжигании топлива в устье скважины (а) и при передвижении камеры сгорания вдоль скважины (б):

1 – трубопровод для жидкого топлива; 2 – то же, для воздуха; 3 – форсунка; 4 – затвор с камерой сгорания; 5 – скважина; 6 – просадочный лессовый грунт; 7 – зона термического закрепления; 8 – гибкий шланг; 9 – натяжное устройство; 10 – жароизолирующий материал

Применяется и другая технология, позволяющая сжигать топливо в любой по глубине части скважин. В результате образуются грунтовые массивы (термосваи) постоянного сечения. Сроки обжига в этом случае несколько сокращаются, упрощается технология работ. Прочность обожженного массива $R \approx 100 \text{ кг/см}^2$.