

Лекция 11



Проектирование КОТЛОВАНОВ

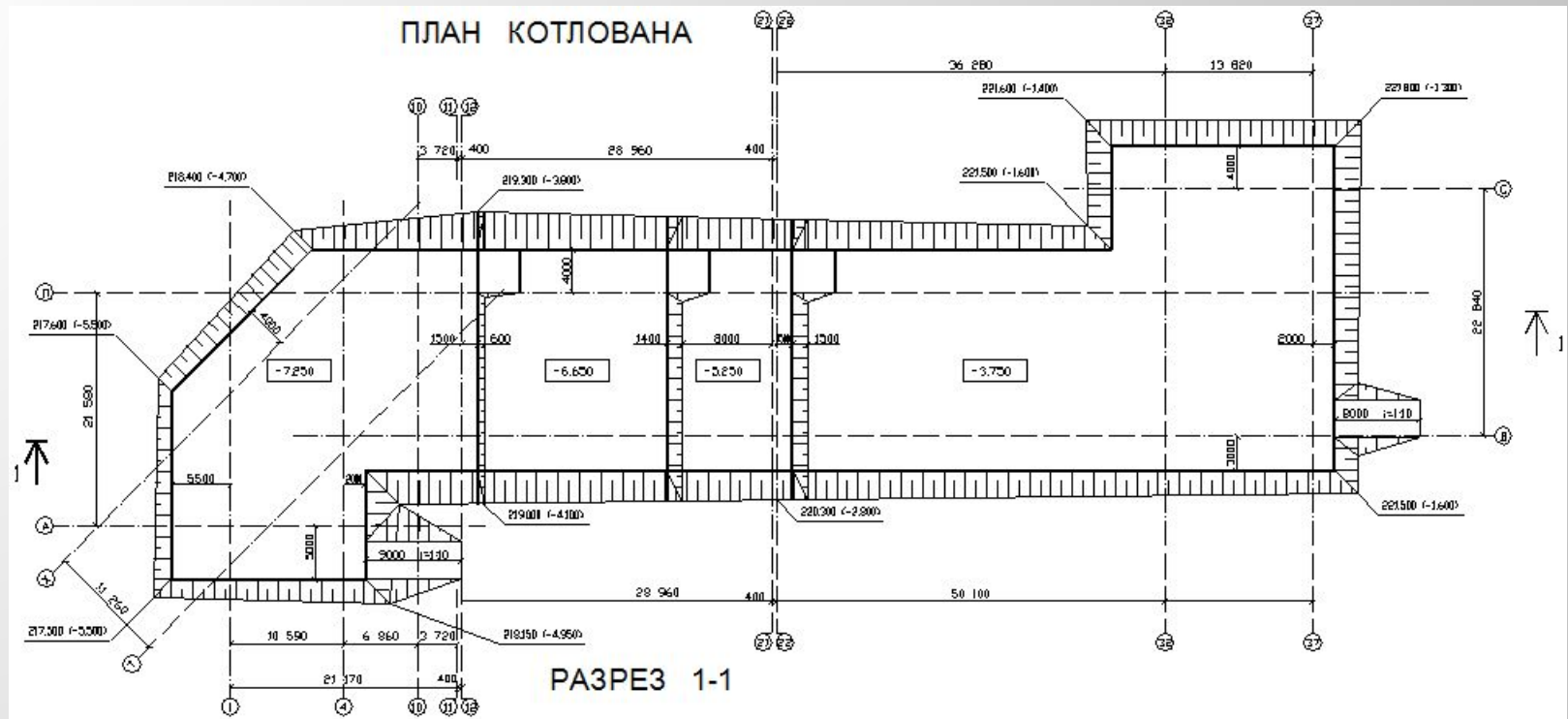
Котлован - выемка в грунтовом массиве, служащая для устройства фундаментов, монтажа подземных конструкций, прокладки тоннелей.



Выемки малой ширины с большой длиной называются **траншеями**, а небольших размеров в плане и имеющих большую глубину называются **шахтами**.

При проектировании ограждений котлованов следует учитывать:

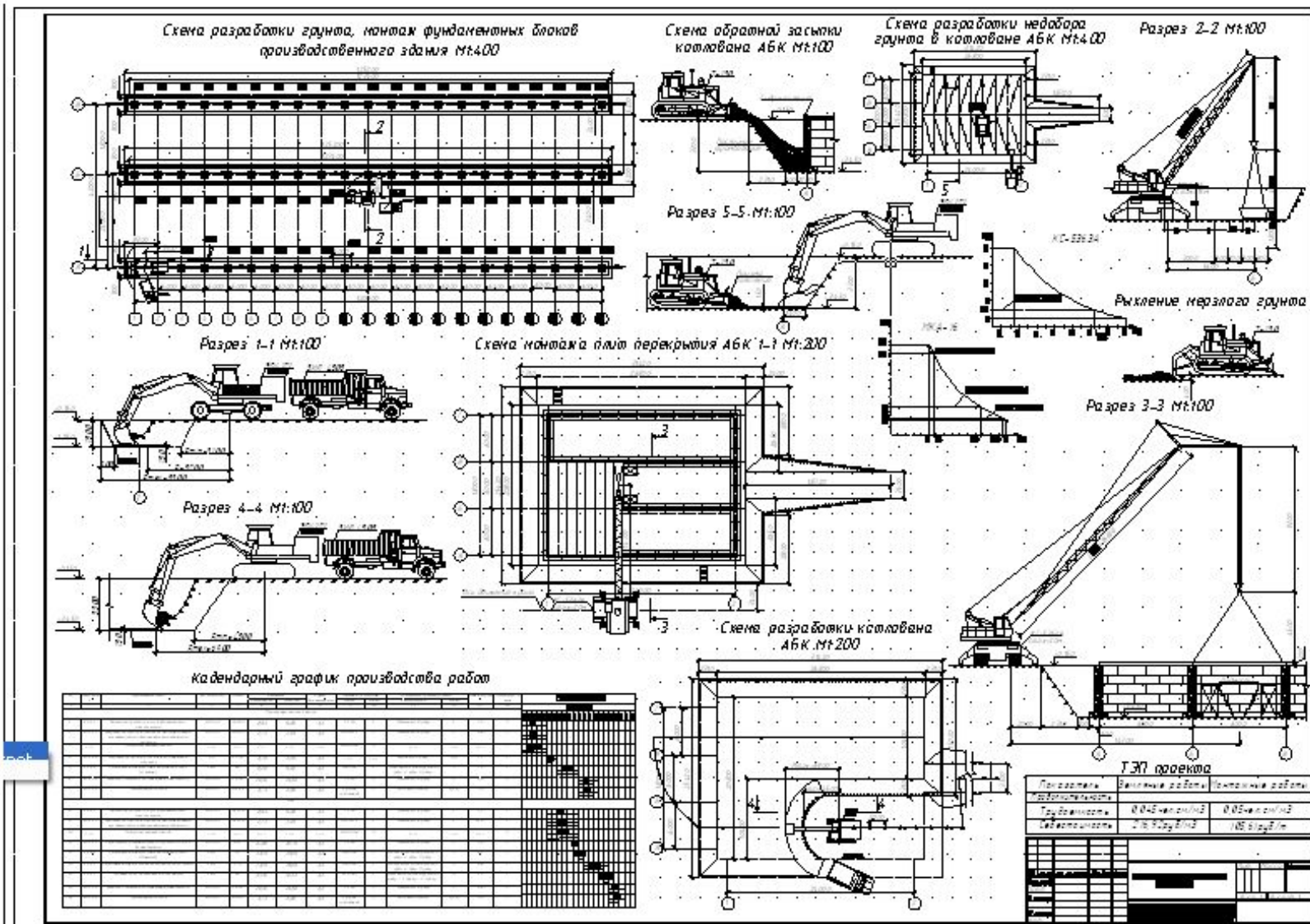
- технологические особенности возведения и последовательность технологических операций;
- необходимость передачи на конструкцию вертикальных нагрузок;
- необходимость устройства пристенного дренажа, использования анкерных или распорных конструкций;
- возможность изменений физико-механических характеристик грунтов, связанных как с природными процессами, так и с процессами бурения, забивки и другими технологическими воздействиями;
- воздействие морозного пучения;
- необходимость обеспечения требуемой водонепроницаемости конструкции;
- возможность применения конструктивных решений и мероприятий по снижению величин давлений грунта на подпорные стены (применение разгружающих элементов,



На плане котлована даются горизонтальная и вертикальная привязки, размеры по низу и по верху, абсолютные отметки дна и заглублений, заложение и уклон откосов.

Размеры по дну определяются размерами подземного контура сооружения, к которым добавляются размеры, требующиеся по условиям производства работ для устройства опалубки, установки оборудования, в том числе для крепления бортов, если оно предусматривается. В размеры котлована поверху включается также ширина откосов котлована.

Котлован необходимо разрабатывать в соответствии с проектом производства работ



Грунт, выбираемый из котлована (траншеи), необходимо размещать на расстоянии не менее 1 м от края разработки.

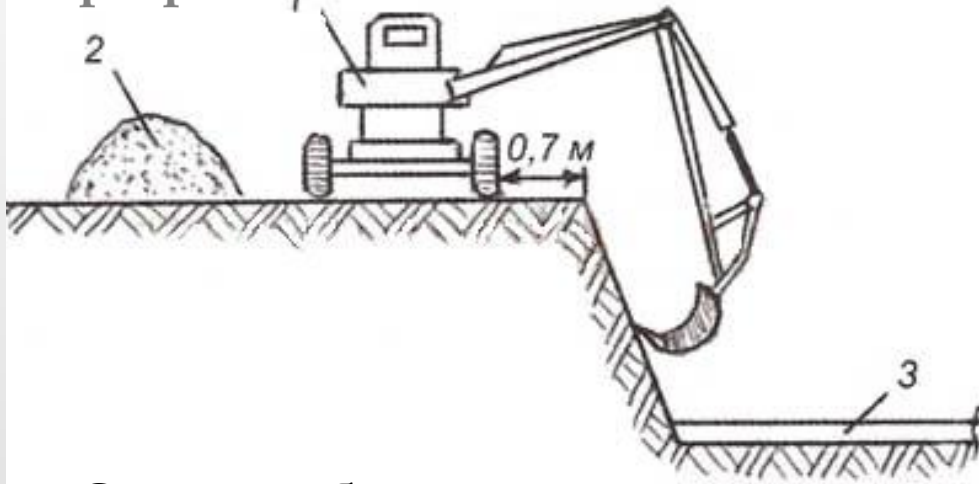


Схема разработки котлована экскаватором:

1 – экскаватор; 2 – грунт для обратной засыпки; 3 – недобор грунта экскаватором

При наличии в период производства работ подземных вод мокрыми следует считать грунты, расположенные выше или ниже уровня грунтовых вод на величину капиллярного поднятия:

• 0,3–0,5 м – для песков, от пылеватых до крупных;

• 1,0 м – для суглинков и глин

Рытье котлована и траншей с вертикальными стенками без крепления можно производить только в грунтах естественной влажности, при отсутствии грунтовых вод. Глубина выемки не должна превышать:

- в песчаных и гравелистых грунтах – 1 м;
- в супесчаных – 1,25 м;
- в глинах и суглинках – 1,5 м;
- в особоплотных грунтах – 2,0 м.

Разработка

котлована и траншей на глубину, превышающую пределы, указанные выше, производится с откосами или с креплением

Котлованы без специального крепления стенок в нескальных грунтах допускаются только в грунтах естественной влажности и при отсутствии грунтовых вод. Как правило, их устраивают с наклонными стенками. При глубине котлованов до 5 м устойчивость откосов можно не рассчитывать, а назначать их уклон по таблице в зависимости от вида грунтов и глубины котлована. При большей глубине, а также при высачивании подземных вод в котлован расчеты устойчивости откосов производятся обязательно.

Таблица 1 – Выбор крутизны откосов котлована

| Грунт | Угол между направлением откоса и горизонталью, град. | Крутизна откоса | Угол между направлением откоса и горизонталью, град. | Крутизна откоса | Угол между направлением откоса и горизонталью, град. | Крутизна откоса | | | | | | |
|---|--|-----------------|--|-----------------|--|-----------------|---------------------------|---|---|--|--|--|
| | | | | | | | При глубине выемки, м, до | | | | | |
| | | | | | | | 1,5 | 3 | 5 | | | |
| Насыпной | 56 | 1 : 0,67 | 45 | 1 : 1 | 38 | 1 : 1,25 | | | | | | |
| Песчаный и гравийный влажный (ненасыщенный) | 63 | 1 : 0,5 | 45 | 1 : 1 | 45 | 1 : 1 | | | | | | |
| Глинистый: супесь суглинок | 76 | 1 : 0,25 | 56 | 1 : 0,67 | 50 | 1 : 0,85 | | | | | | |
| | 90 | 1 : 0,0 | 63 | 1 : 0,5 | 53 | 1 : 0,75 | | | | | | |
| Глина | 90 | 1 : 0 | 76 | 1 : 0,25 | 63 | 1 : 0,5 | | | | | | |
| Лёсс и лёссовидный | 90 | 1 : 0 | 63 | 1 : 0,5 | 63 | 1 : 0,5 | | | | | | |
| Моренный: песчаный, супесчаный суглинистый | 76 | 1 : 0,25 | 60 | 1 : 0,57 | 53 | 1 : 0,75 | | | | | | |
| | 78 | 1 : 0,2 | 63 | 1 : 0,5 | 57 | 1 : 0,65 | | | | | | |

Таблица 2. Предельно допустимая крутизна откосов котлована и траншей

| Вид грунтов | Крутизна откоса (отношение его высоты к заложению и градусы) при глубине выемки, м, не более | | |
|------------------------|--|--|---|
| | 1,5 | 3 | 5 |
| Насыпные неуплотненные |  |  |  |
| Песчаные гравийные |  |  |  |
| Супесь |  |  |  |
| Суглинок |  |  |  |
| Глина |  |  |  |
| Лёссы и лессовидные |  |  |  |

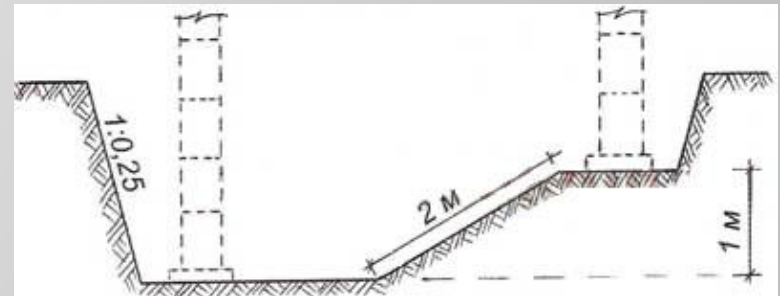
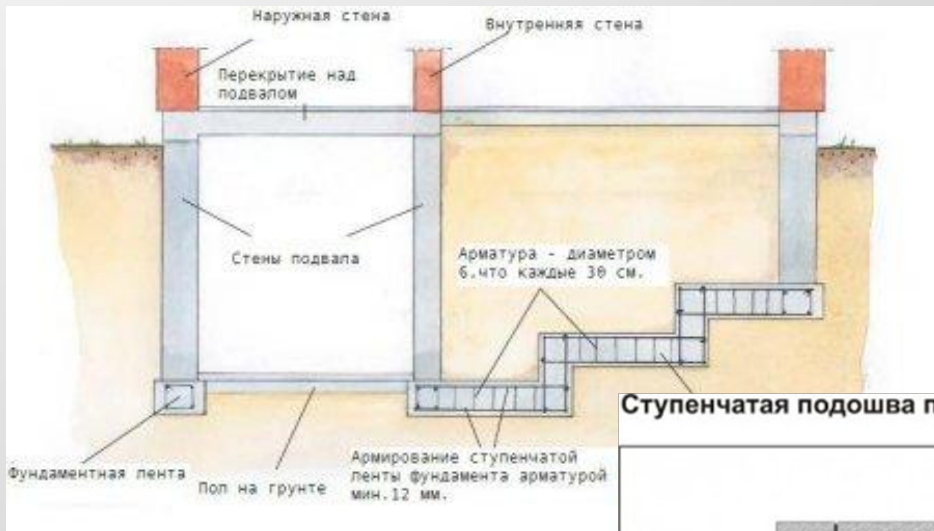
При напластовании различных видов грунта крутизну откосов необходимо назначать по наименее устойчивому виду от обрушения откоса.
К несслежавшимся насыпным относятся грунты с давностью отсыпки до двух лет — для песчаных; до пяти лет — для пылевато-глинистых грунтов.

Таблица 3. ДОПУСТИМАЯ КРУТИЗНА ОТКОСА В ОБВОДНЁННЫХ ГРУНТАХ

| Грунт | При глубине выемки, м | |
|--|-----------------------|----------|
| | до 2 | более 2 |
| Песок: мелкозернистый средне- и крупнозернистый | 1 : 1,5 | 1 : 2 |
| | 1 : 1,25 | 1 : 1,5 |
| Суглинок | 1 : 0,67 | 1 : 1,25 |
| Гравелистый и галечниковый (гравия и гальки свыше 40%) | 1 : 0,75 | 1 : 1 |
| Глина | 1 : 0,5 | 1 : 0,75 |
| Разрыхлённый скальный | 1 : 0,25 | 1 : 0,25 |

Разработку грунта в котлованах или траншеях при переменной глубине заложения фундаментов следует вести уступами

Отношение высоты уступа к его длине должно быть не менее: при связных грунтах – 1:2; при несвязных грунтах – 1:3. Это соотношение – упрощенный вариант, позволяющий без расчета границы сжимаемой зоны и несущей способности грунта сохранить



Ступенчатая подошва под ленточным фундаментом на склоне

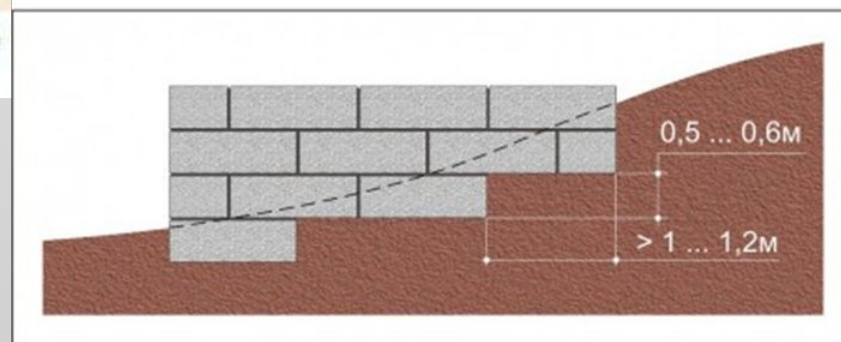
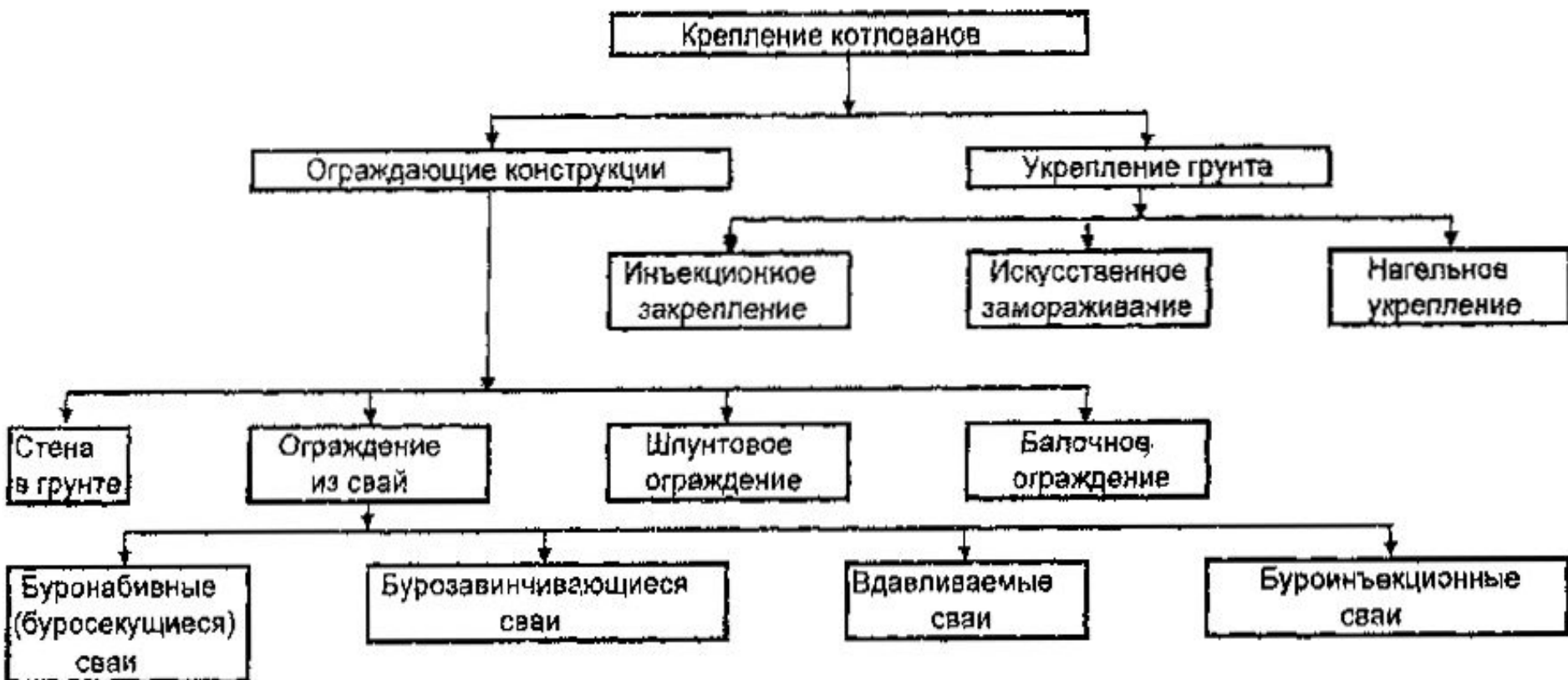


Схема котлована с переменной глубиной заложения фундамента

Классификация крепления котлованов



Ограждение по способу «стена в грунте»

По назначению различают три типа стен: **несущие, ограждающие и противофильтрационные**;
по материалам - монолитные, сборные и сборно-монолитные.

Способ «стена в грунте» позволяет осуществлять строительство:

- в непосредственной близости от существующих зданий и сооружений;
- при значительной глубине сооружения (до 50 м);
- при больших размерах в плане и сложной форме сооружения;
- при высоком уровне подземных вод.

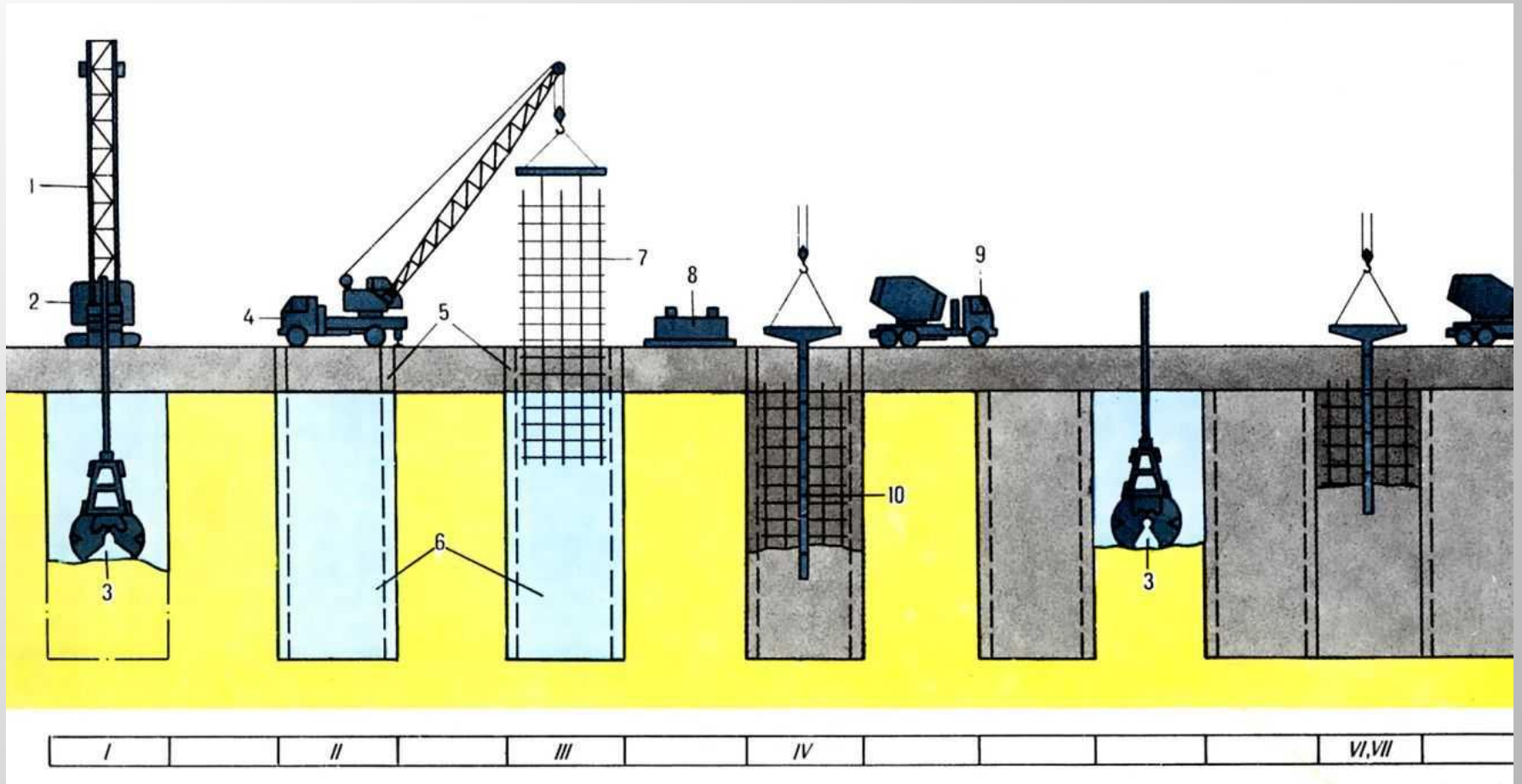
По грунтовым условиям «стена в грунте» может применяться в любых дисперсных грунтах за исключением:

- текучих глинистых грунтов, илов и пльвунов;
- при наличии подземных вод с большими скоростями

фильтрации

Устройство ограждений котлованов по технологии «стена в грунте» состоит в отрывке глубоких узких траншей под защитой глинистого раствора с последующим бетонированием методом вертикально перемещающейся трубы (ВПТ). Траншеи разрабатываются отдельными захватками, длина которых в плане соответствует размерам навесного оборудования и составляет обычно 2-3 м.

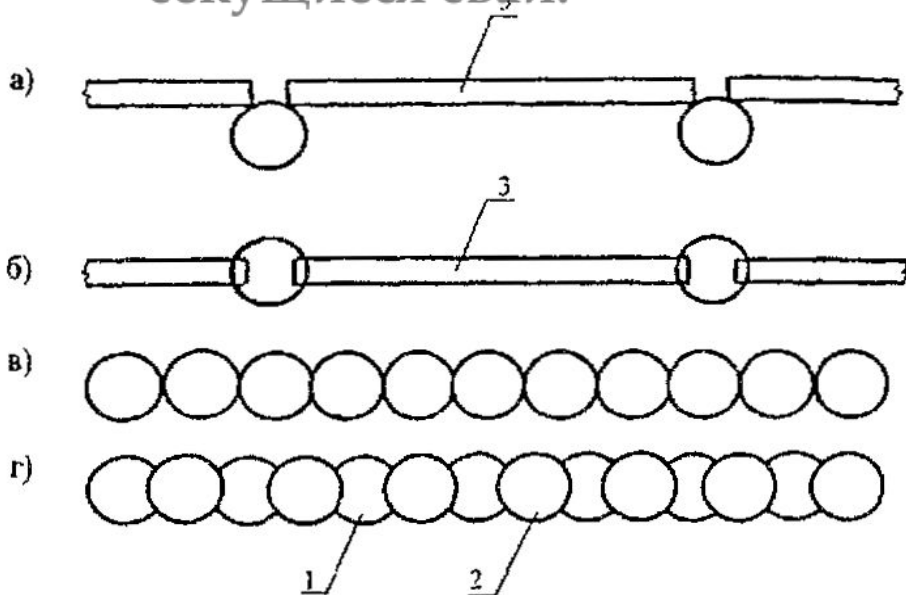




Ограждение из буронабивных свай

Ограждение из буронабивных свай относится к малодеформирующимся видам крепления. Применяется в случае больших нагрузок на бровке котлована, а также на сами сваи при использовании их в качестве несущего элемента строящегося сооружения.

В качестве ограждения котлованов из буронабивных свай применяют три группы свайных стен: с прерывистым расположением свай, с касательным их сопряжением и секущиеся сваи.



а и *б* - сваи, установленные с определенным шагом и затяжкой;
в - бурокасающиеся сваи;
г - буросекущиеся сваи:
1 - опережающая свая,
2 - пересекающая свая,
3 - затяжка

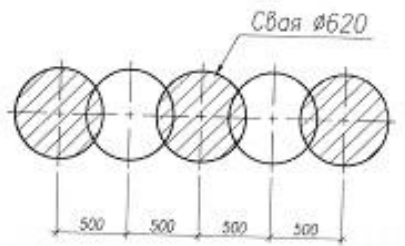
Стены **с прерывистым расположением свай** устраиваются в сухих связных грунтах, способных держать вертикальный откос 1 - 2 м. Промежуток между сваями для предотвращения местных вывалов защищается затяжками из досок, тонких железобетонных плит, гофрированных стальных листов или бетонной затяжкой.

Стены **с касательным сопряжением свай** используются в несвязных грунтах, чтобы избежать осыпания грунта между сваями при раскрытии котлована, а следовательно и осадок поверхности.

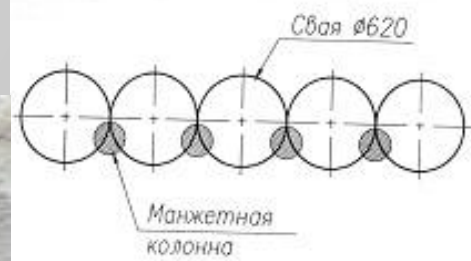
Стены **из буросекущихся свай** сооружают, когда дно котлована ниже подземных вод. На первом этапе изготавливаются через одну сваи без армирования, на втором - между ними устраиваются сваи таким образом, чтобы бетон соседних свай частично подрезался. Сваи второго этапа армируются. Благодаря полученному сцеплению образуется сплошная прочная стена с повышенной водонепроницаемостью. Врезка в бетон соседних свай составляет 80 - 150 мм в зависимости от диаметра свай, который составляет от 600 до 1300 мм.



Узел 1
секущиеся сваи



Узел 2
касательные сваи



Преимущества ограждений из буронабивных свай:

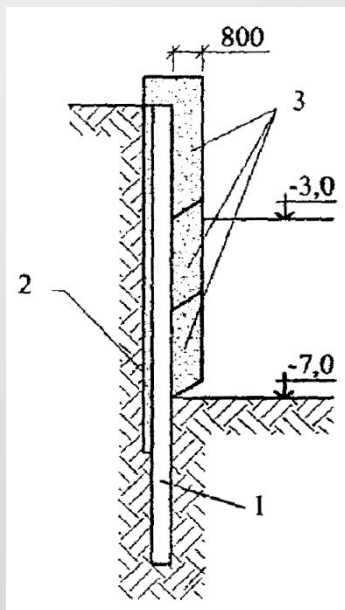
- возможность использования в качестве основания прочных грунтов, залегающих на большой глубине;
- возможность устройства свай разной длины, опирающихся на необходимой отметке при резко пересеченном рельефе кровли прочных грунтов, принятых за основание свай;
- возможность устройства ограждений стен котлованов, когда уровень подземных вод залегает выше уровня дна котлована;
- возможность передачи на одну сваю большого диапазона нагрузок (1000 - 10000 кН);
- возможность устройства свай большого диаметра (по сравнению с забивными сваями), что значительно улучшает работу свай на горизонтальную нагрузку;
- исключение подвижки и деформации грунтового массива и расположенных поблизости зданий за счет повышенной жесткости свай;
- возможность устройства свай без армирования в нижней ее части, где отсутствует передача моментов и горизонтальных сил;
- отсутствие существенных вибраций и сотрясений в процессе производства работ.

Ограждение из бурозавинчивающихся и вдавливаемых свай

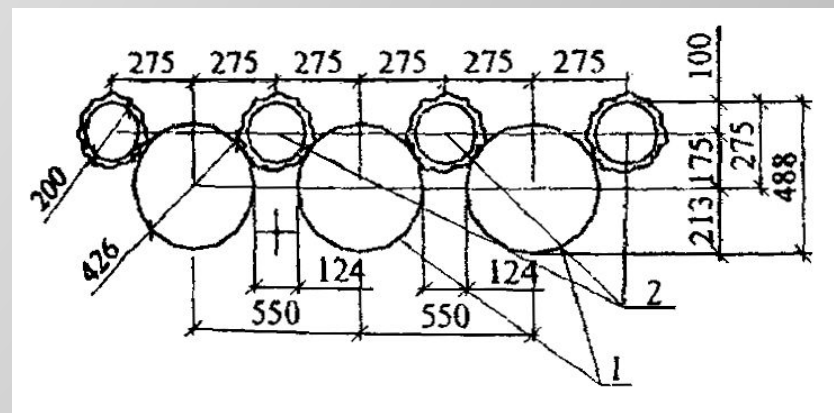
Область применения металлических бурозавинчивающихся свай по грунтовым условиям - песчаные и глинистые грунты от плотных до текучих. В глинистых грунтах применяют завинчивание труб диаметром до 325 мм, в песках - до 500 мм при их длине - до 20 м. При этом возможна стыковка труб во время их погружения сваркой по аналогии с составными сваями.

Область применения метода вдавливания свай - песчаные и глинистые грунты. При этом в плотных и прочных грунтах вдавливание может быть облегчено устройством лидерных скважин. Грунт в процессе погружения сваи уплотняется, а его строительные свойства улучшаются.

Конструкцию ограждения котлованов в виде бурозавинчивающихся свай с забиркой нельзя устраивать в слабых и водонасыщенных грунтах в непосредственной близости от существующих сооружений. В этих случаях применяется конструкция из двух рядов свай, причем сваи внутреннего ряда, обращенные к котловану, являются несущими, а наружные - тампонирующими или замыкающими. В качестве тампонирующих хорошо зарекомендовали себя так называемые буротрамбованные сваи



Конструкция стены подземного сооружения из 2-х рядов свай
 1 - несущие металлические сваи;
 2 - тампонирующие буротрамбованные;



План ограждения котлована конструкций из 2-х рядов свай
 1 - несущие металлические сваи;
 2 - тампонирующие буротрамбованные сваи

Ограждение из буринъекционных свай

Область применения буринъекционных свай - ограждение глубокого котлована в стесненных условиях городской застройки в качестве перемычки в стенке в грунте.

Для увеличения жесткости стенки в связи с большой гибкостью буринъекционных свай может быть рекомендовано:

- двухрядное расположение свай;
- дополнительное закрепление грунта вокруг свай путем инъецирования твердеющего раствора;
- устройство анкеров;
- объединение голов свай железобетонной плитой.



Шпунтовые и балочные ограждения

Шпунтовое ограждение котлована представляет собой временное ограждение, которое состоит из забитых в грунт (по периметру котлована) деревянных или стальных шпунтовых свай.

Шпунтовая стена *относится к гибким видам крепления*, поэтому ее целесообразно использовать при отсутствии вблизи бровки котлована значительных нагрузок.

Область применения шпунтовых ограждений по грунтовым условиям - пески и глинистые грунты, в том числе водонасыщенные, не содержащие крупных включений.

Погружение шпунтовых элементов в грунт осуществляется тремя способами: *ударным, вибрационным и вдавливанием*. Выбор способа погружения определяется: грунтовыми условиями, наличием вблизи котлована эксплуатируемых зданий и сооружений, массой и длиной погружаемых элементов, а также наличием необходимого оборудования. Шпунт, так же, как и балочное ограждение, чаще всего предусматривается *извлекаемым из грунта*.

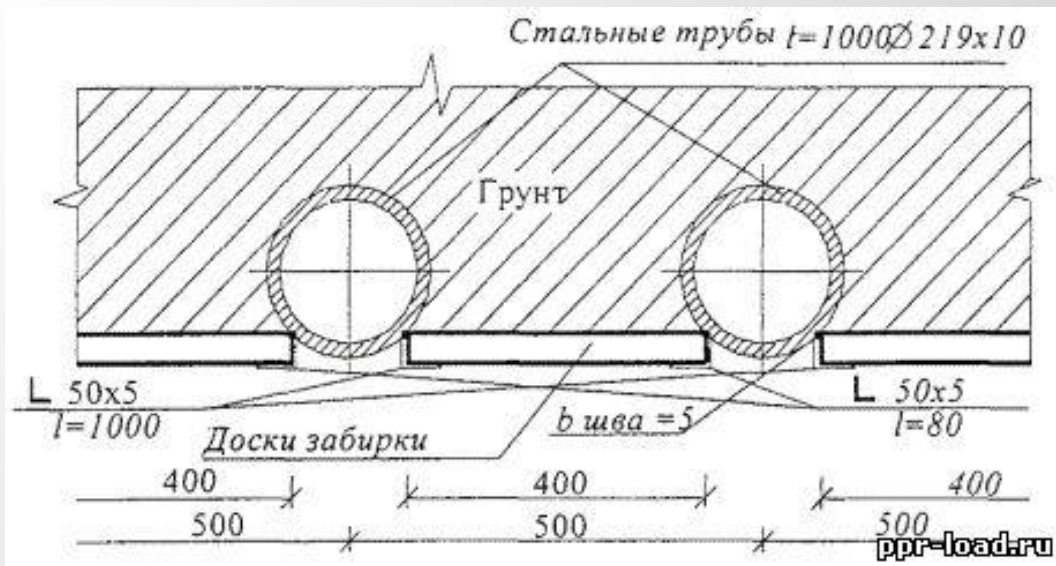


Схема крепления котлована с помощью стальных труб

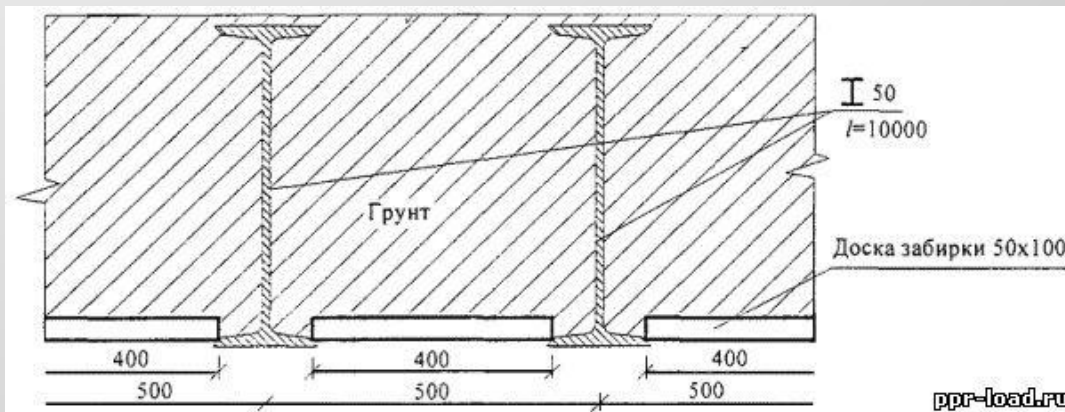
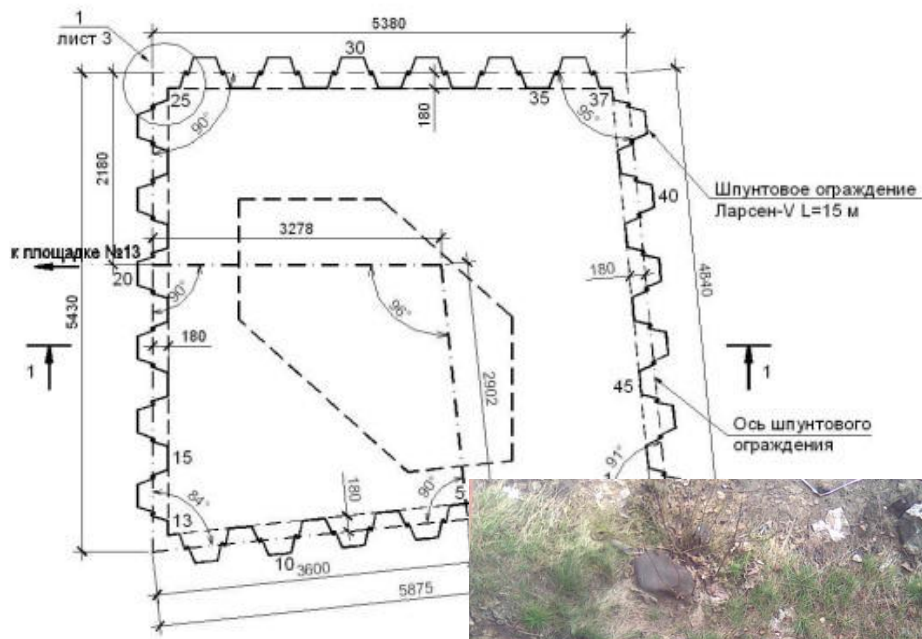


Схема крепления котлована с помощью двутавровых балок





Способы крепления ограждающих конструкций

Для обеспечения устойчивости ограждающей конструкции при глубине котлована более 4 - 6 м необходимо применять ее крепление распорными или анкерными конструкциями.

К преимуществам распорных систем перед анкерными следует отнести следующие: их устройство проще, дешевле и не требует специальной технологии и специального оборудования, они могут многократно использоваться.

Хорошо зарекомендовали себя наклонные распорки с упором на фрагмент днища котлована или на специально выполненную свайную опору.



Применение анкерного крепления ограждающих конструкций котлованов взамен распорных систем во ряде случаев дает технико-экономические преимущества:

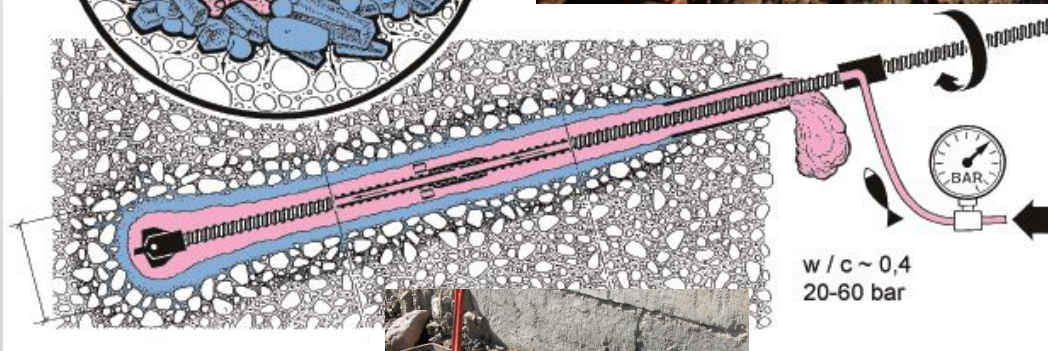
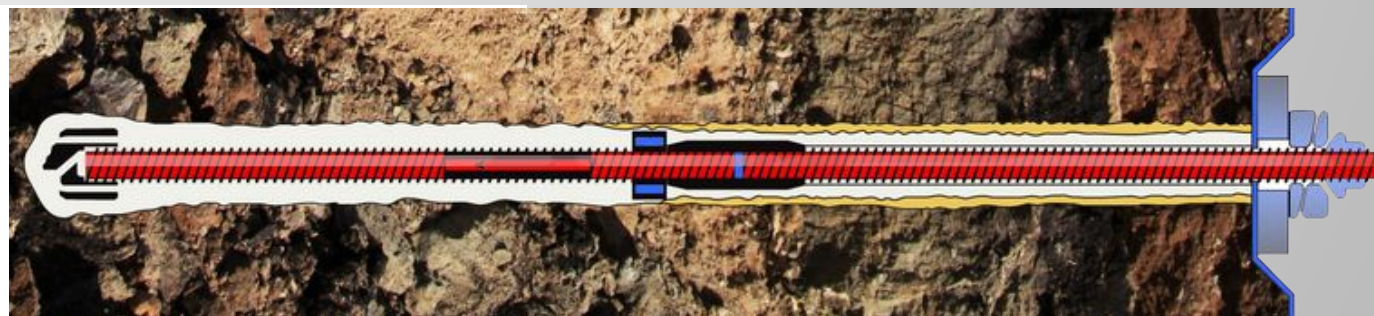
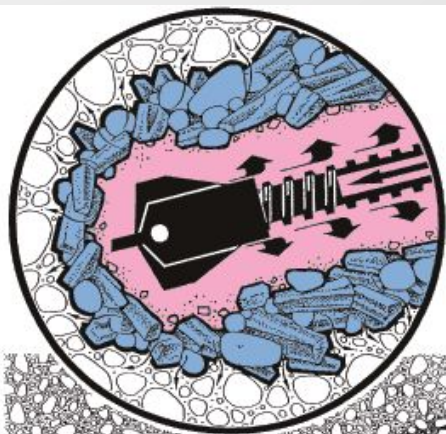
- нет ограничений по ширине котлована;**
- расширяется фронт разработки грунта в котловане строительной техникой;**
- отсутствуют какие-либо помехи при монтаже конструкций сооружения;**
- отпадает необходимость в перекладке распорных элементов;**
- применение там, где это возможно, одностороннего крепления ограждения котлована;**
- достигается существенный технико-экономический эффект в последующих технологических операциях по возведению подземного сооружения (земляные работы, монтаж строительных конструкций), что обеспечивает существенное сокращение сроков строительства.**



Анкеры могут устанавливаться во всех грунтах за исключением слабых (глины текучей консистенции, илы, заторфованные грунты и торфы, просадочные грунты, пески рыхлые). Скважины для установки анкера образуют путем бурения (с обсадными трубами, под глинистым раствором, шнеком) или забивкой или вдавливанием обсадной трубы.









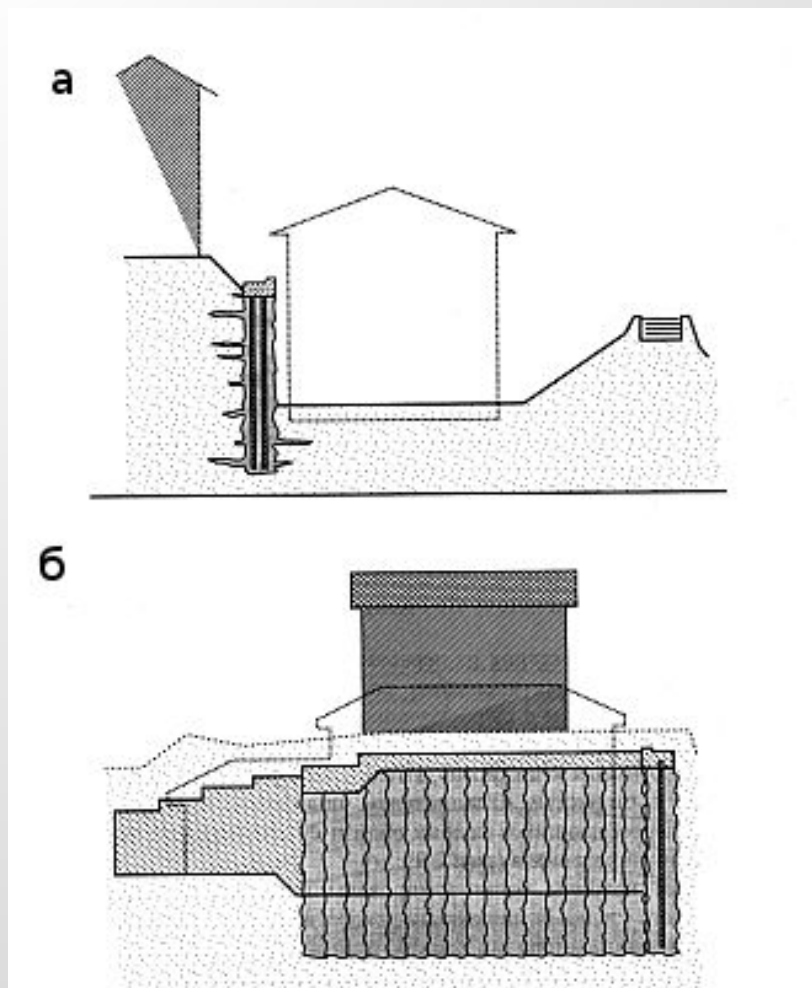
Подпорные стены, служащие ограждениями котлованов, а также их основания следует рассчитывать по двум группам предельных состояний.

Первая группа предельных состояний должна предусматривать выполнение следующих расчетов:

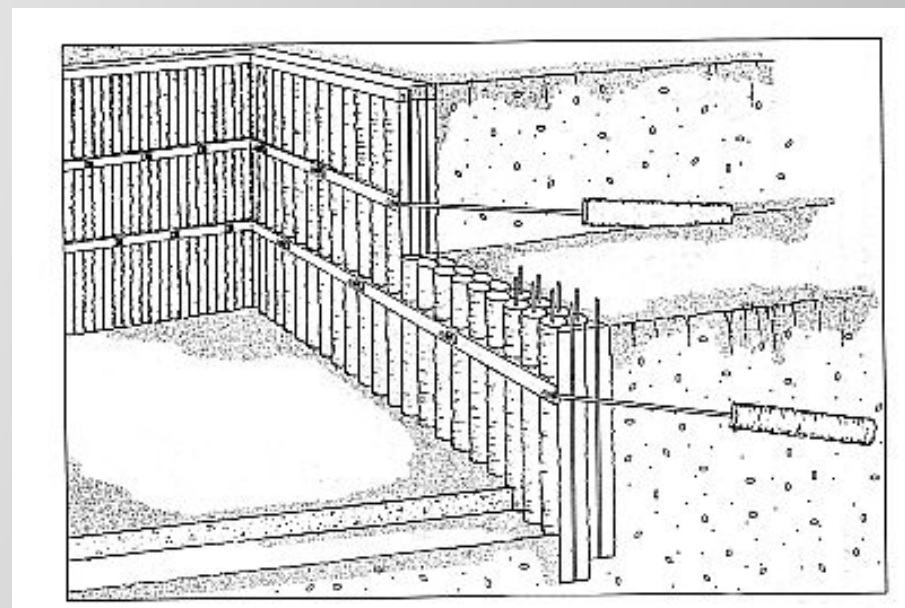
- устойчивости положения стены против сдвига, опрокидывания и поворота;**
- устойчивости, несущей способности и местной прочности основания;**
- прочности элементов конструкций и узлов соединения;**
- несущей способности и прочности анкерных элементов;**
- устойчивости и прочности распорных элементов;**

Вторая группа предельных состояний должна предусматривать выполнение следующих расчетов:

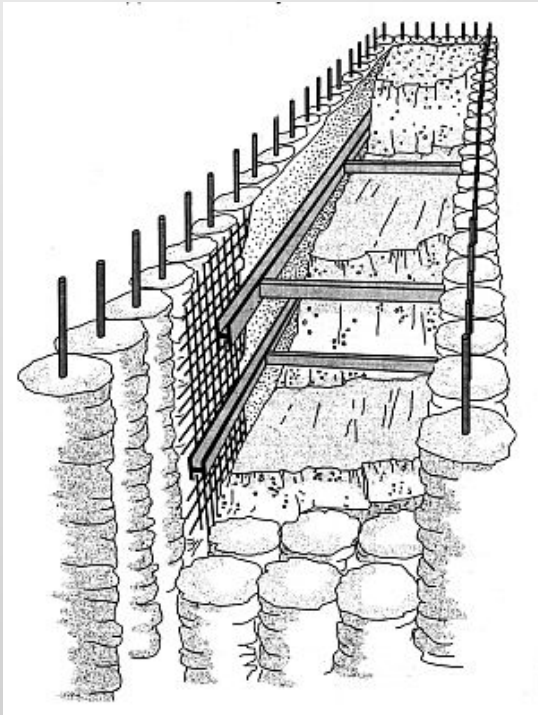
- основания, подпорных стен и их конструктивных элементов по деформациям, в том числе с определением горизонтальных смещений;**
- железобетонных элементов конструкций стен по раскрытию**



а - поперечный разрез по подпорной стенке;
б - продольный разрез по продольной стенке



Ограждение котлована двойным рядом грунтобетонных колонн с армированием центральным стержнем и анкерным креплением, выполненное с помощью струйной геотехнологии





Ограждение котлованов при помощи струйной цементации грунтов

Данная технология имеет ряд преимуществ:

- при устройстве котлована в обводненных грунтах ограждение из грунтоцементных колонн выполняется также функцию противофильтрационной завесы и защищает от поступления воды в котлован;

- высокая производительность (до 150 п.м. в смену);

- минимальное влияние на окружающую застройку (отсутствуют ударные и вибрационные воздействия);

- возможность выполнять сваи ограждения котлована в стесненных условиях, например, на расстоянии 300 мм от стены здания, а также под консольными частями зданий при помощи малогабаритных буровых установок;

- устройство грунтоцементных свай диаметром 600-3000 мм.

Для восприятия изгибающих моментов сваи армируются металлическими трубами диаметром 114-273 мм или двутаврами.

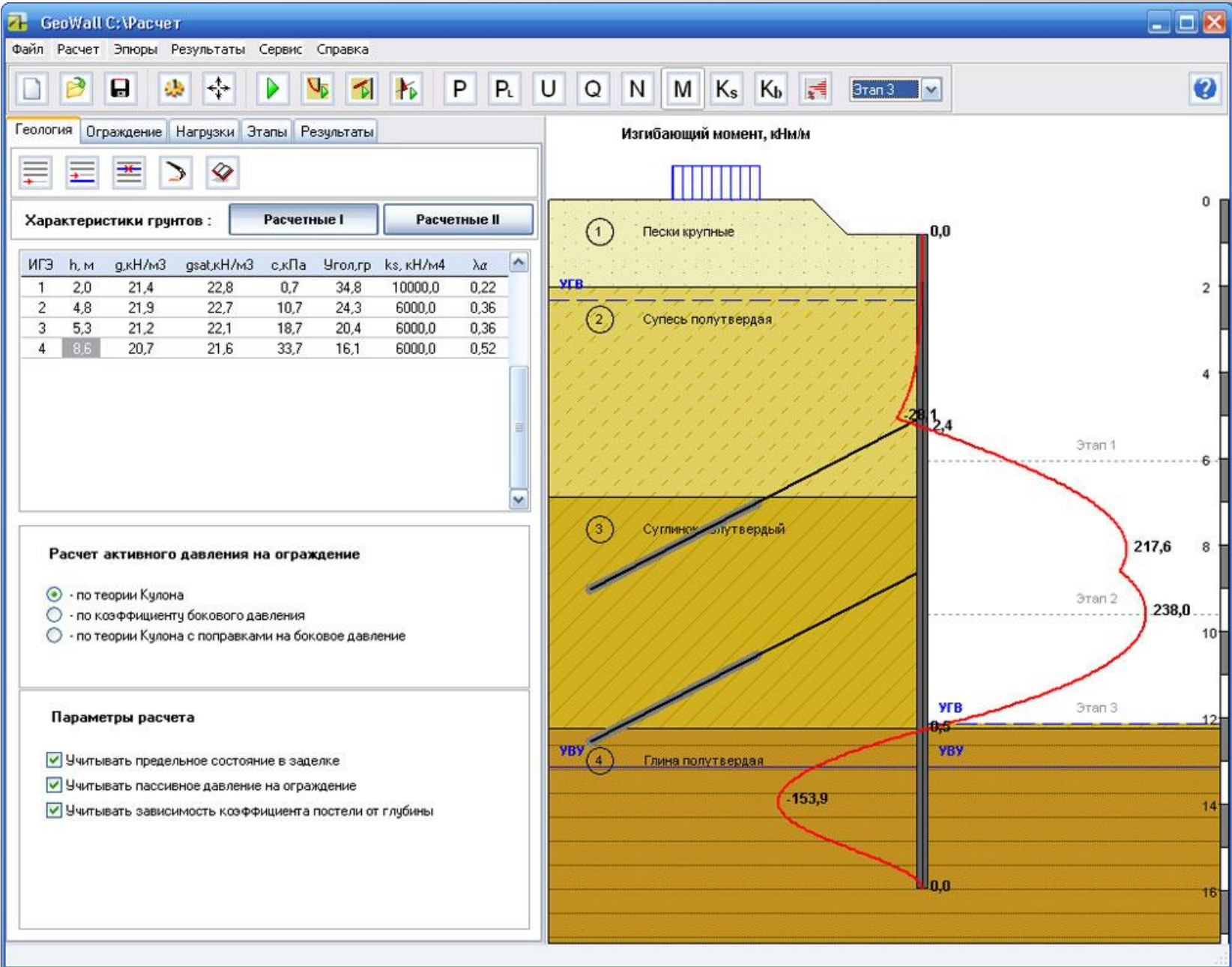
В плане ограждающая конструкция может быть выполнена различной конфигурации: один ряд касательных или отдельно стоящих свай, в шахматном порядке, два ряда для большей надежности, в виде гравитационной стены



Крепление глубоких котлованов, грунтовыми анкерами



Применяются анкера различных типов и конструкций: гибкие 4-х - 6-ти прядевые буринъекционные анкера различной глубины с блокировочным натяжением 40 - 80 тонн, жесткие арматурные анкера длиной до 30 - 40 м и блокировочным натяжением 30 - 40 тонн.



Строительное водопонижение

Строительное водопонижение - это комплекс мер, обеспечивающих понижение уровня грунтовых вод и его поддержание на время необходимое для проведения работ по разработке котлованов.

Целью водопонижения является поддержание водоносных грунтов в осушенном состоянии в течение всего периода возведения сооружения. В ряде случаев водопонижение применяют для снятия избыточного напора в подстилающих водоносных грунтах, отделенных от дна котлована слоем водоупорного грунта.

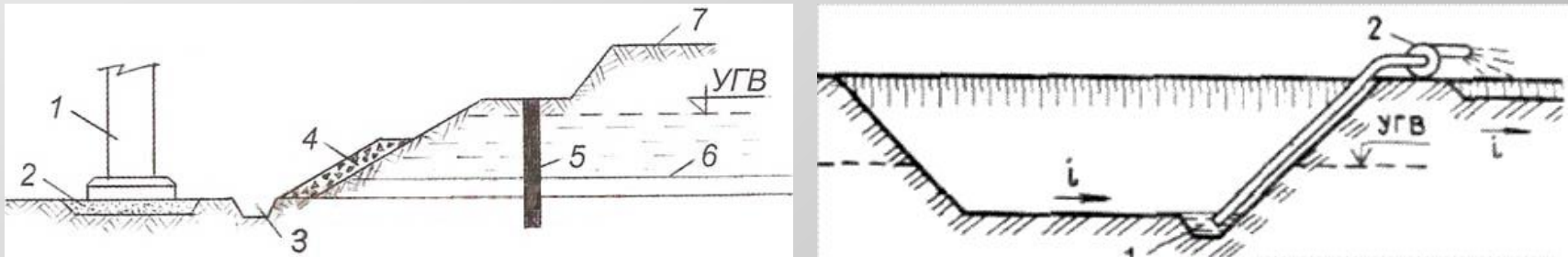
Способы водопонижения и используемое оборудование (скважины с погружными насосами, эжекторами, водопонижение иглофильтрами, открытый водоотлив и т.п.) выбираются в зависимости от параметров котлована, гидрологических и геологических условий, конструкции будущего сооружения и требований технико-экономического характера. Для водопонижения применяют: легкие иглофильтровые установки, установки вакуумного и забойного водопонижения, а также глубинные насосы, устанавливаемые в водопонижающие скважины.

Защита котлована от грунтовых вод

- 1) искусственным понижением уровня грунтовых вод с помощью спец. водопонизительного оборудования: электроосушением; вакуумированием с применением эжекторных вакуумных водопонизительных установок) и т.д. ;
- 2) устройством противофильтрационных диафрагм способом «набивного шпунта» или «стена в грунте» ;
- 3) способом открытого водоотлива в тех случаях, когда отсутствует опасность суффозии (разрушение структуры грунта).
- 4) Искусственное замораживание и применение физико-химических методов (битумизации, цементации, закрепления синтетическими смолами).

Защита котлована от грунтовых вод способом открытого водоотлива

Воду откачивают насосом из котлована. Затем устраивают водосборные канавы глубиной 0,3-0,6 м и более глубокие приемки. Однако при этом может возникнуть оплывание откосов и их приходится пригружать песчано-гравийной смесью. На основе расчетов устанавливается приток воды на 1 м² дна котлована в м³/ч.



Вариант защиты котлована от грунтовых вод:

- 1 — фундамент; 2 — песчаная подушка; 3 — канава для сбора воды;
- 4 — гравийная пригрузка; 5 — шпунтовая стенка;
- 6 - верхний слой водоупора; 7 — уровень земли

Засыпка пазух траншей и котлованов

Обратная засыпка пазух грунтом производится после проверки устройства фундаментов, прокладки трубопроводов, их испытания и сдачи по акту. Засыпка и послойное уплотнение грунта должны выполняться с обеспечением сохранности гидроизоляции фундаментов и стен подвала. Засыпку пазух доводят до отметок, гарантирующих надежный отвод поверхностных вод.

Засыпку пазух производят послойно. При этом толщина отсыпаемого слоя должна быть не более 25 см и число проходов не менее 4. Грунт уплотняют вручную, начиная с зон возле конструкций фундамента, стен подвала, мест ввода коммуникаций (рис. 5), а затем двигаются по направлению к краю откоса, применяя, если есть возможность, электротрамбовки типа ИЭ-4505, ИЭ-4502А. Верхний слой грунта уплотняют до отметки устройства отмостки. Чтобы уберечь гидроизоляцию стен подвала, ее закрывают плоскими асбестоцементными листами.

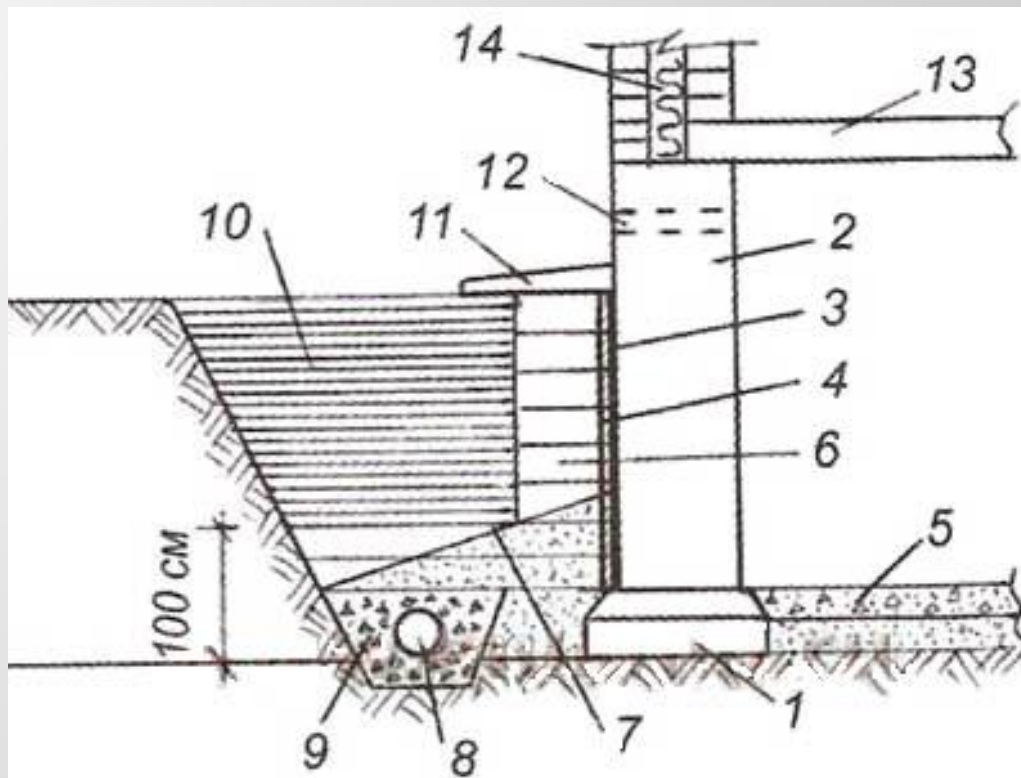
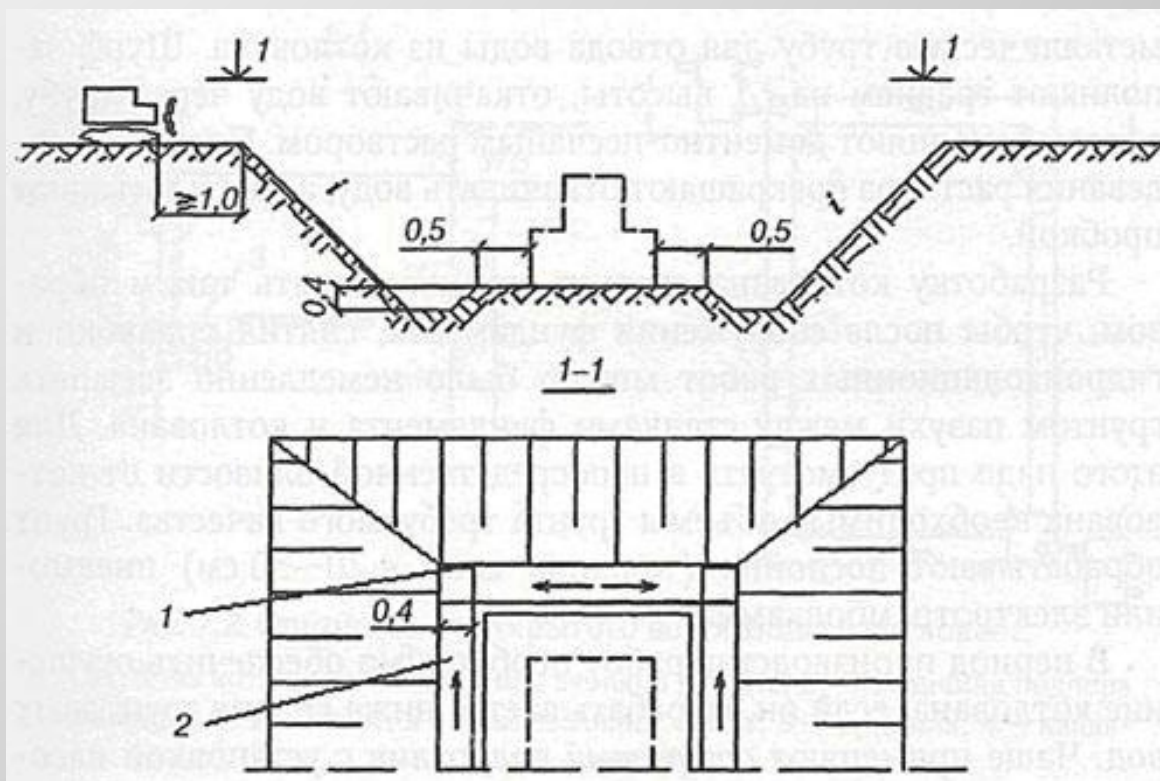


Схема обратной засыпки пазух фундамента: 1 – фундамент; 2 – стена подвала; 3 – гидроизоляция; 4 – асбестоцементные плоские листы; 5 – бетонный пол подвала; 6 - зона уплотнения грунта вручную; 7 – граница засыпки дренажа песком; 8 – дренажная труба; 9 – засыпка дренажа щебнем; 10 – слои грунта, уплотняемые легкими механическими трамбовками; 11 – отмостка; 12 – вентиляционный короб; 13 – перекрытие подвального этажа; 14 – утепленная кирпичная стена.

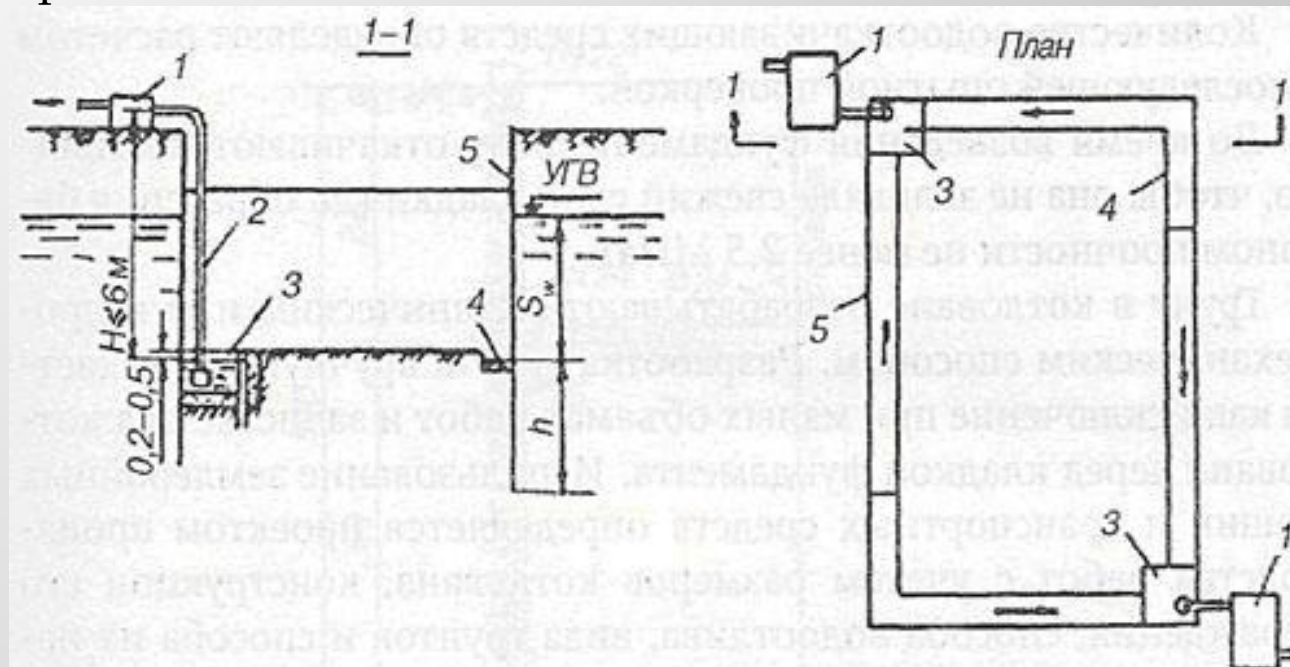
Примечание. Толщина отсыпаемого слоя грунта принимается до 0,25 м.

Отрывать котлованы с вертикальными стенками без креплений можно только в грунтах естественной влажности, и если нет грунтовых вод. Глубина выемки не должна превышать 1 м в насыпных, песчаных и гравелистых грунтах; 1,25 м – в супесях; 1,5 м-в суглинках и глинах; 2,0 м – в особо плотных грунтах. Котлован с вертикальными стенками разрабатывать можно, если кладка фундамента будет выполнена непосредственно после разработки грунта.



Открытый водоотлив с установкой насосов на поверхности (по углам котлована).

По периметру котлована роют канавки глубиной 0,3–0,4 м и приямки в местах размещения насосов

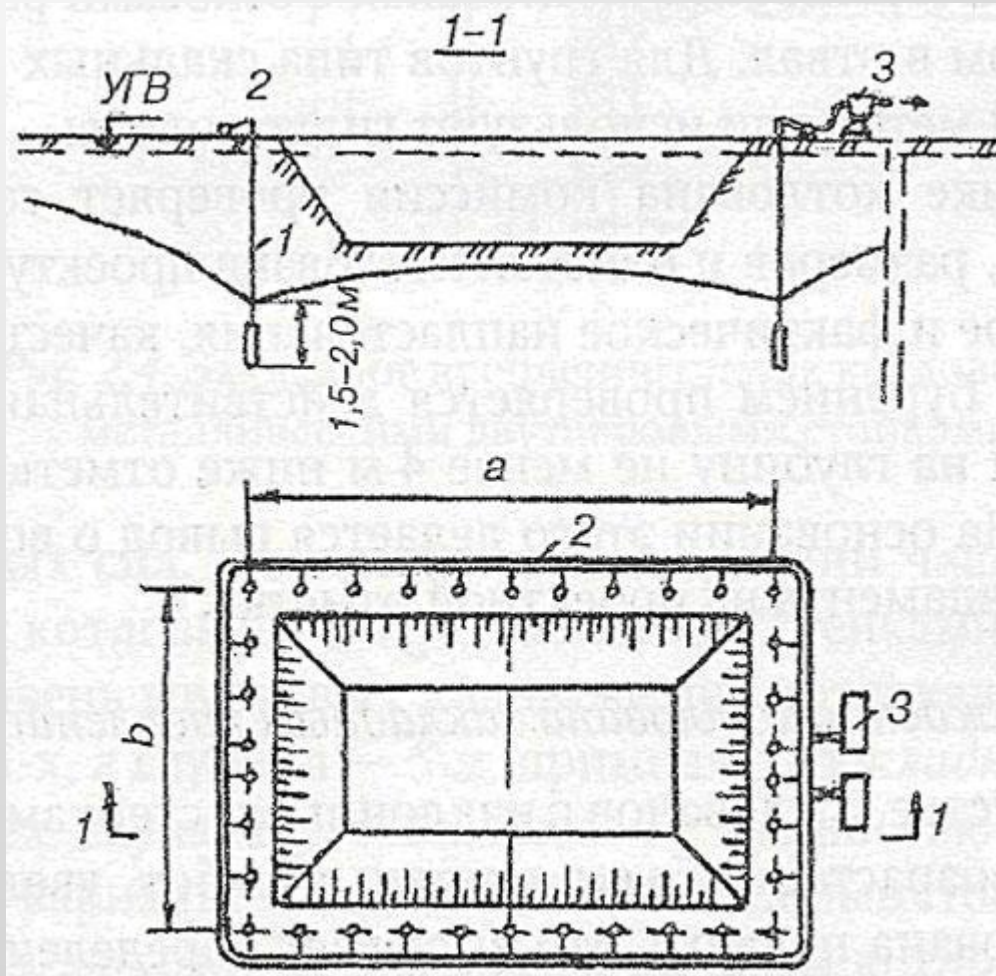


Организация открытого водоотлива в котловане:

H – глубина котлована; h – глубина забивки шпунта; S_w – величина подпора грунтовых вод; 1 – насос; 2 – всасывающий шланг; 3 – приямок; 4 – канавка; 5 – шпунт

Глубинный водоотлив.

По периметру бровки котлована бурят скважины, из которых откачивают воду с помощью специальных иглофильтров



Понижение уровня грунтовых вод путем глубинного водоотлива: 1 - иглофильтр; 2 - коллектор; 3 - насосная установка (a , b - расстояния между крайними иглофильтрами).

Количество водооткачивающих средств определяют расчетом с последующей опытной проверкой.

Во время возведения фундамента воду откачивают постоянно, чтобы она не заливала свежий слой кладки (до обретения бетоном прочности не менее 2,5 МПа).