

# Лекция 11



## Проектирование КОТЛОВАНОВ

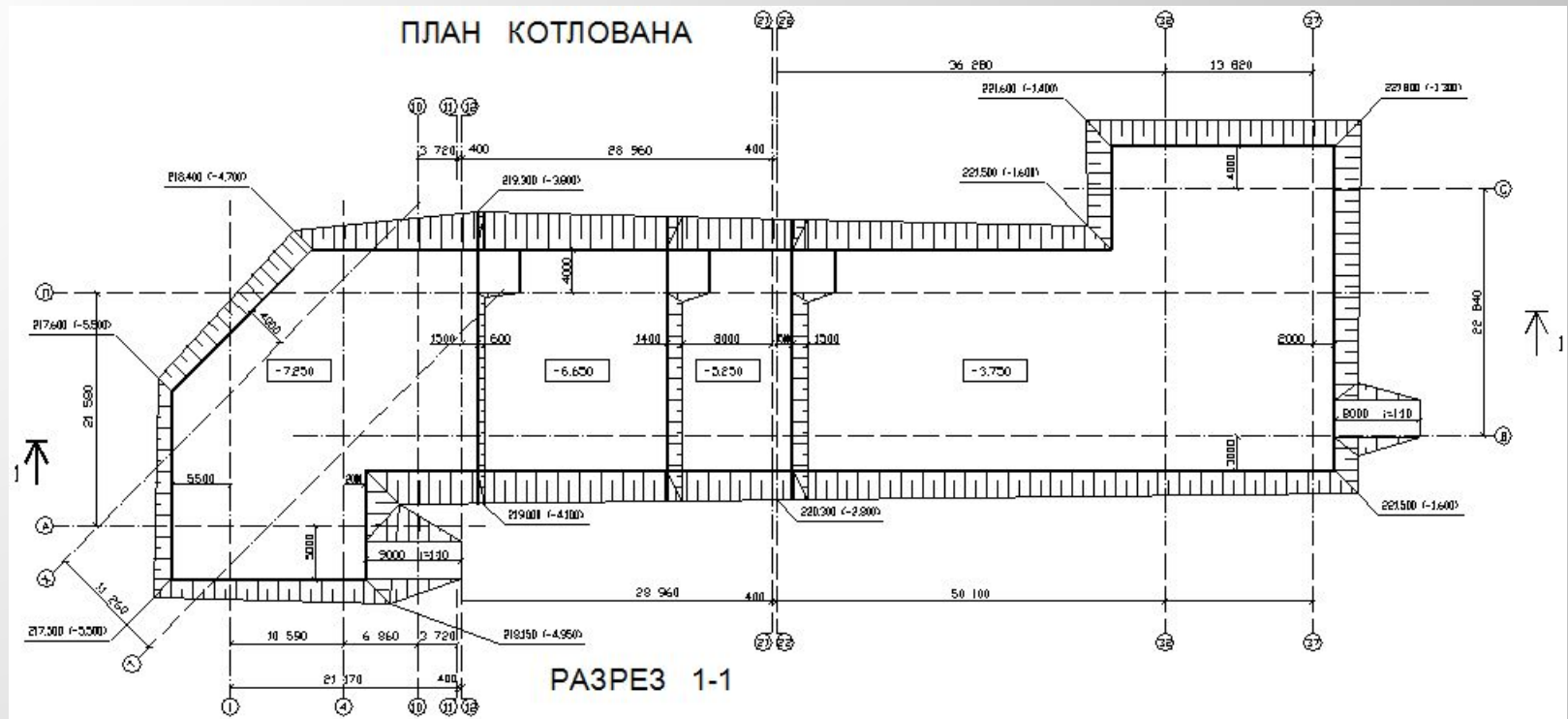
**Котлован** - выемка в грунтовом массиве, служащая для устройства фундаментов, монтажа подземных конструкций, прокладки тоннелей.



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, геотекстиля, армогрунта и пр.).



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.



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

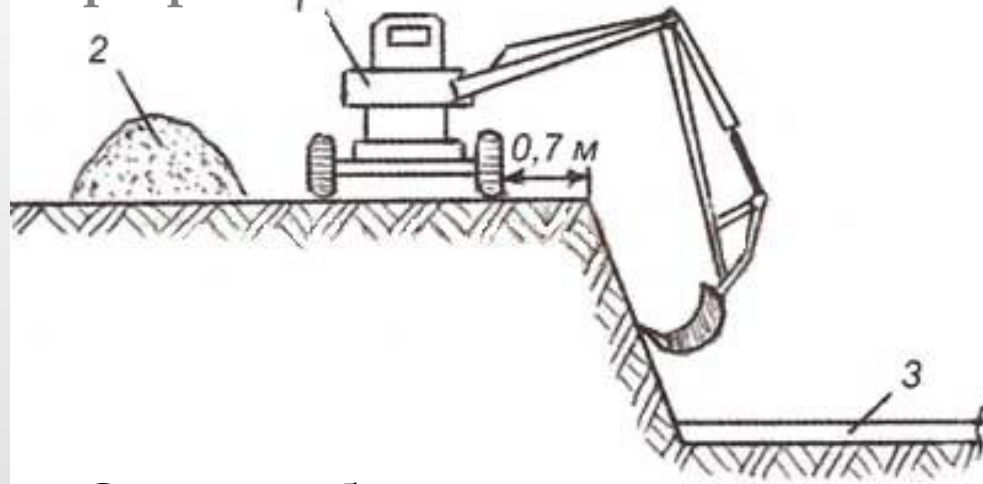


Схема разработки котлована экскаватором:

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

При наличии в период производства работ подземных вод мокрыми следует считать грунты, расположенные ниже и выше 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 особо плотных 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 не скальных 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.

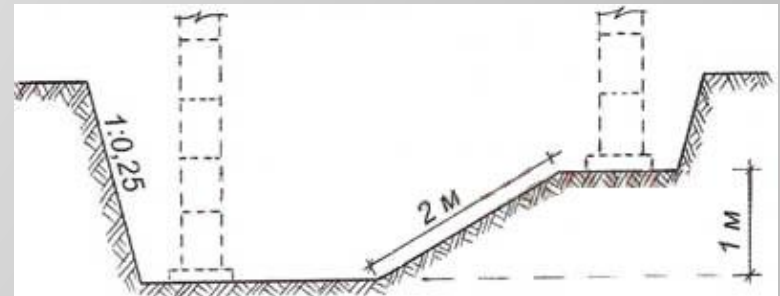
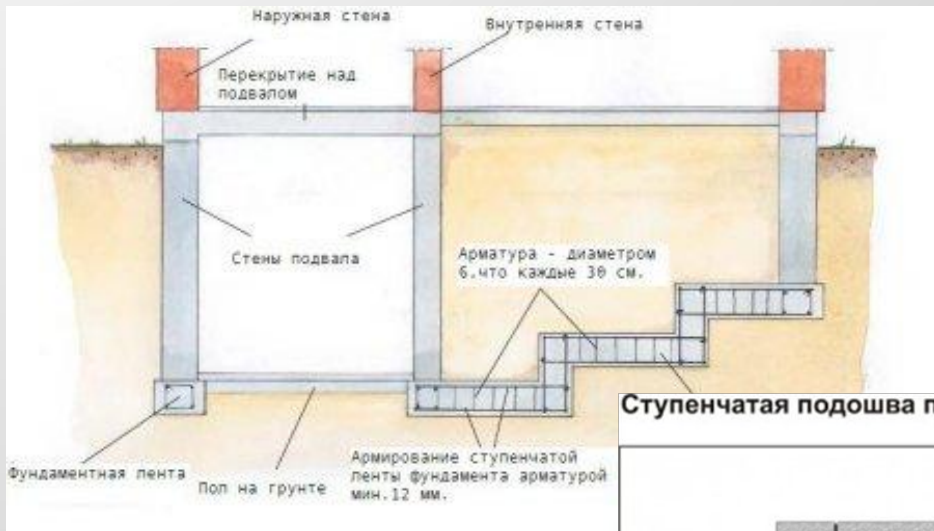
**Таблица 3. ДОПУСТИМАЯ КРУТИЗНА ОТКОСА В ОБВОДНЁННЫХ ГРУНТАХ**

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

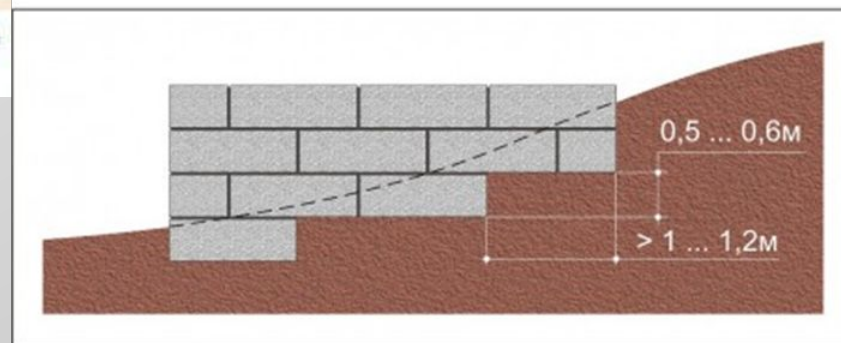
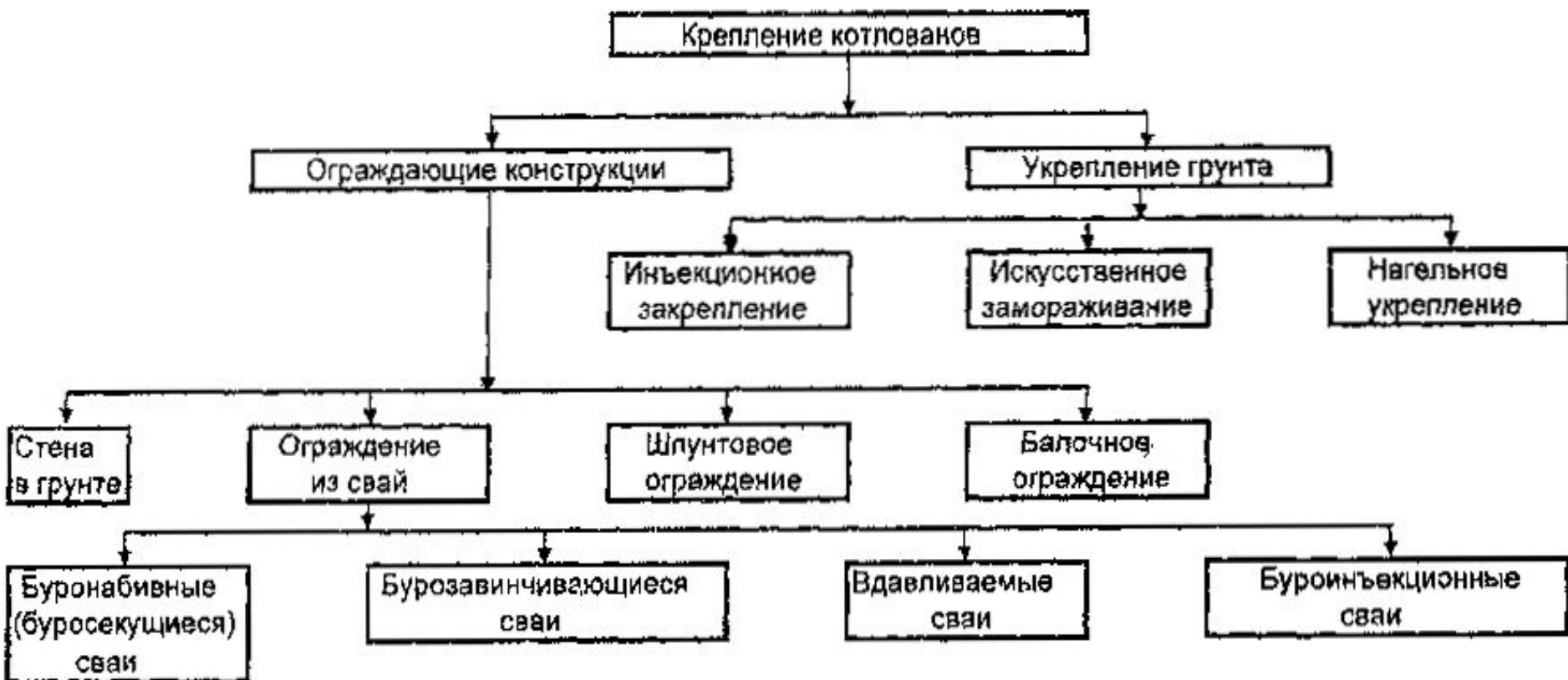


Схема котлована с переменной глубиной заложения фундамента

# Классификация крепления котлованов



# Ограждение по способу «стена в грунте»

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

Технология «стена в грунте» применяется:

- при повышенном уровне подземных вод;
- в случае, если надо заглубить конструкцию в прочный и водоупорный слой;
- если стеснены условия строительства;
- если работы ведутся на глубине более 5 метров.
- 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.

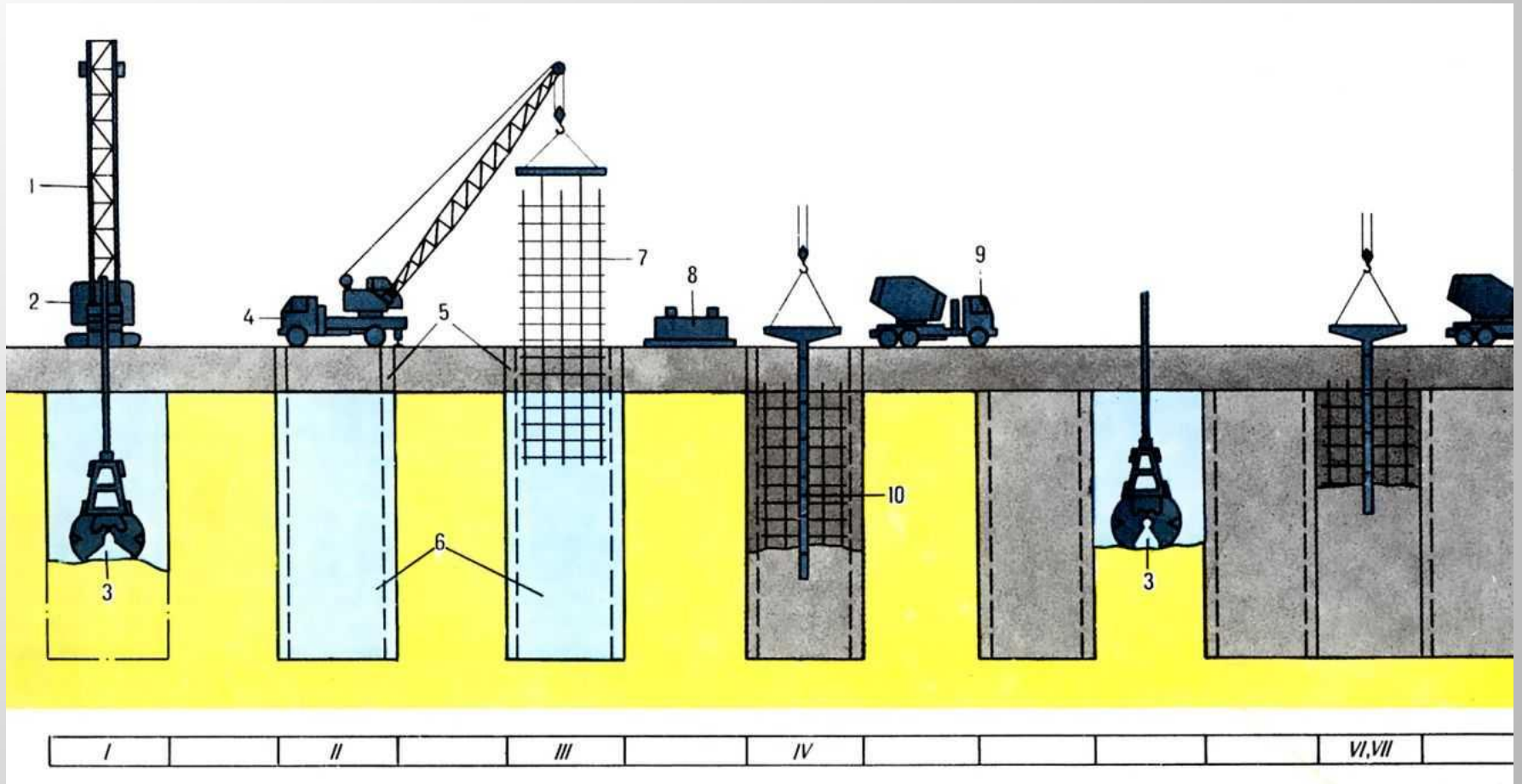
По грунтовым условиям «стена в грунте» может применяться в любых дисперсных грунтах за исключением:

- текучих глинистых грунтов, илов и плавучих;



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.







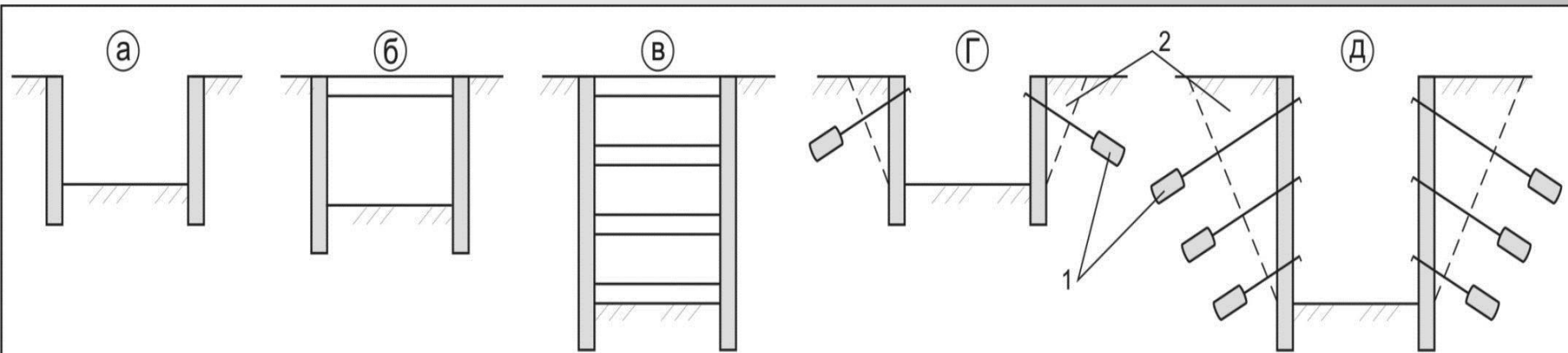


Рис. 1. Конструктивные схемы устройства стен подземных сооружений методом «стена в грунте»:

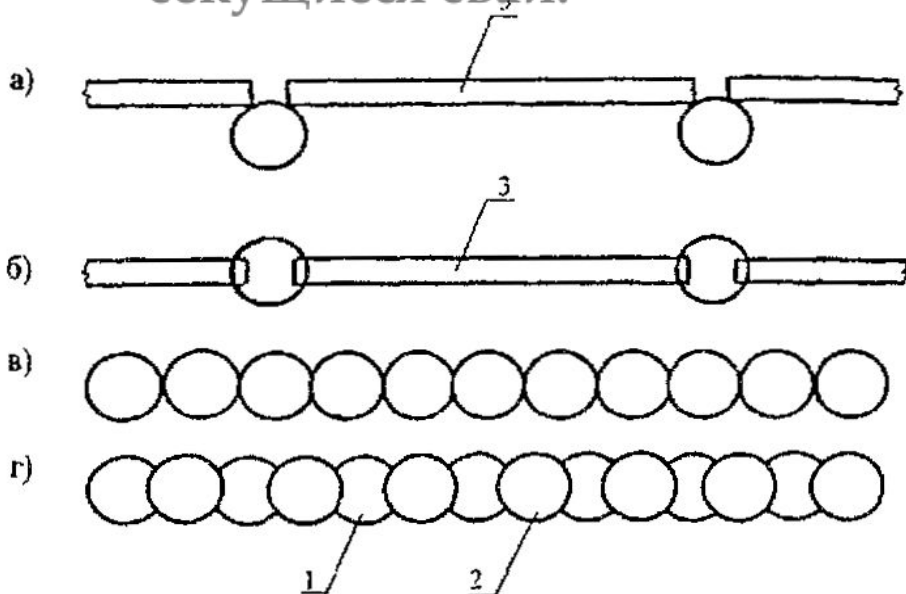
а - консольная стена; б, в - стены с одно- и многоярусным креплением распорками;  
 г, д - стены с одно- и многоярусным креплением анкерами; 1 - грунтовые анкеры; 2 - призма обрушения.

**При необходимости ограждающие конструкции могут выполнять двойную функцию: являются и ограждением котлована, и конструктивным элементом, но при этом изменяется конструктивная схема подземной части здания и производится два расчета: на ограждение котлована «стена в грунте» и на боковое давление грунта и расчет «стен» на вертикальную нагрузку.**

# 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.



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

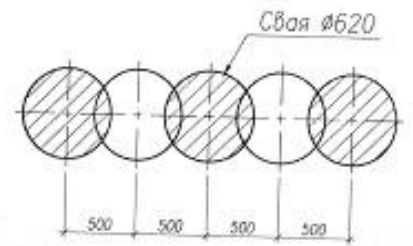
Стены **с прерывистым расположением свай** устраиваются в сухих связных грунтах, способных держать вертикальный откос 1 - 2 м. Промежуток между сваями для предотвращения местных вывалов защищается затяжками из досок, тонких железобетонных плит, гофрированных стальных листов или бетонной затяжкой.

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

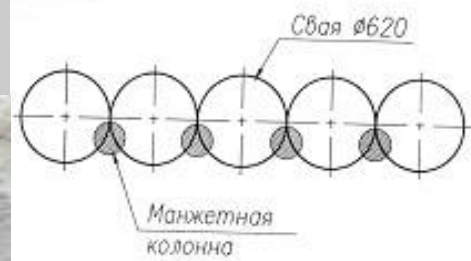
Стены **из буросекущихся свай** сооружают, когда дно котлована ниже подземных вод. На первом этапе изготавливаются через одну сваи без армирования, на втором - между ними устраиваются сваи таким образом, чтобы бетон соседних свай частично подрезался. Сваи второго этапа армируются. Благодаря полученному 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.

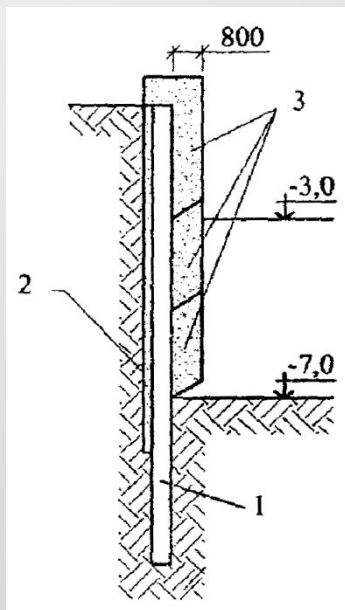


# Ограждение из бурозавинчивающихся и вдавливаемых свай

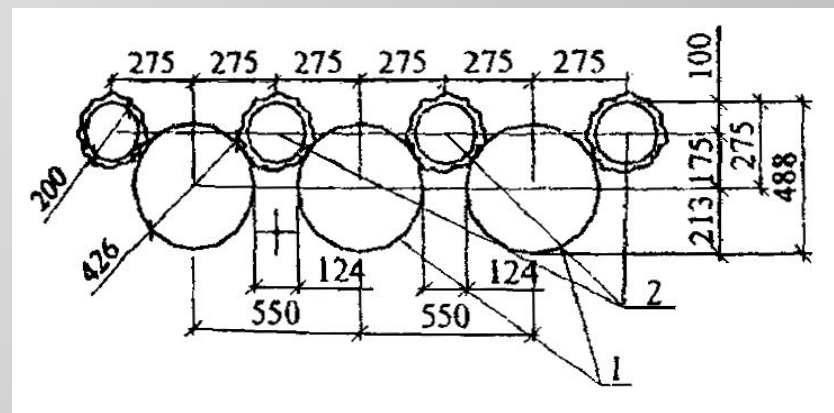
Область применения металлических **бурозавинчивающихся** свай по грунтовым условиям - песчаные и глинистые грунты от плотных до текучих. В глинистых грунтах применяют завинчивание труб диаметром до 325 мм, в песках - до 500 мм при их длине - до 20 м. При этом возможна стыковка труб во время их погружения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

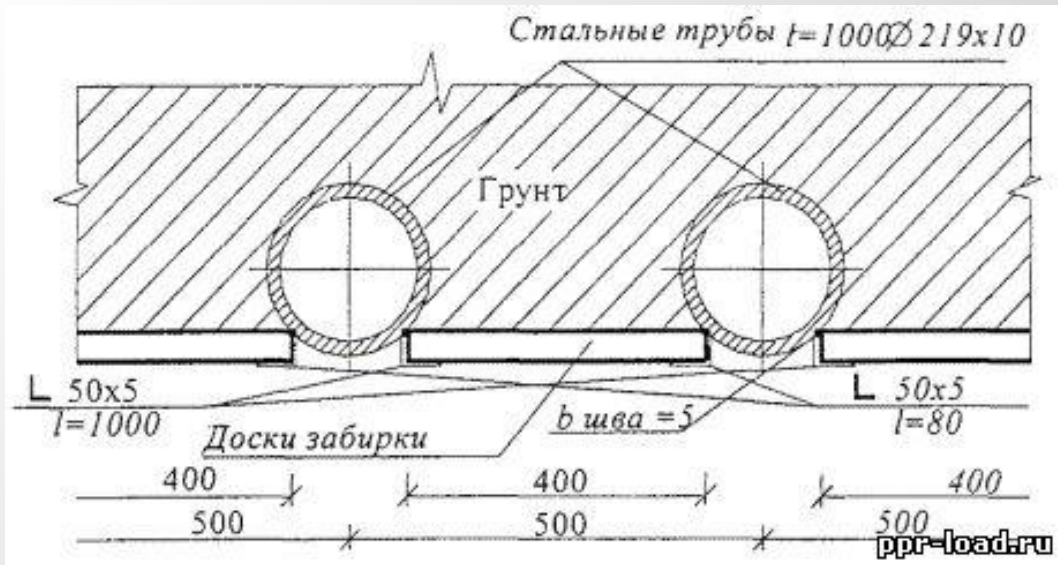
Шпунтовое ограждение котлована представляет собой временное ограждение, которое состоит из забитых в грунт (по периметру котлована) деревянных или стальных шпунтовых свай.

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

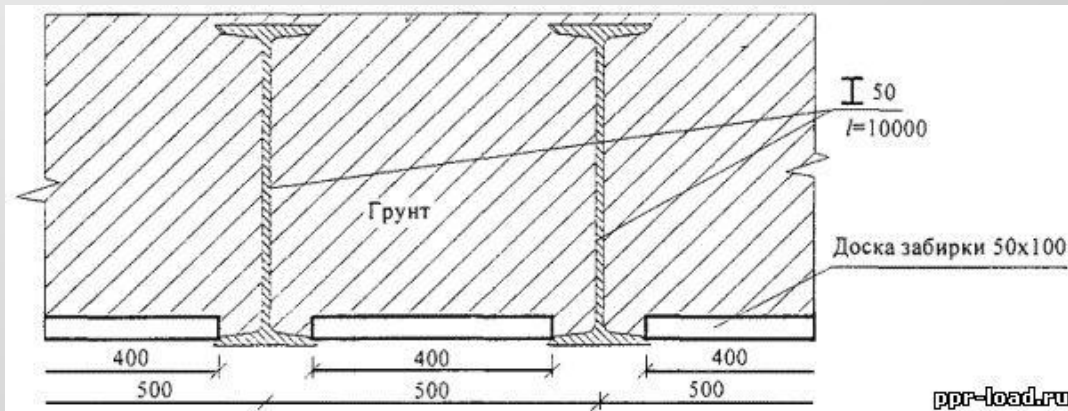
Область применения шпунтовых ограждений по грунтовым условиям - пески и глинистые грунты, в том числе водонасыщенные, не содержащие крупных включений.

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 чаще всего предусматривается извлекаемым из грунта.



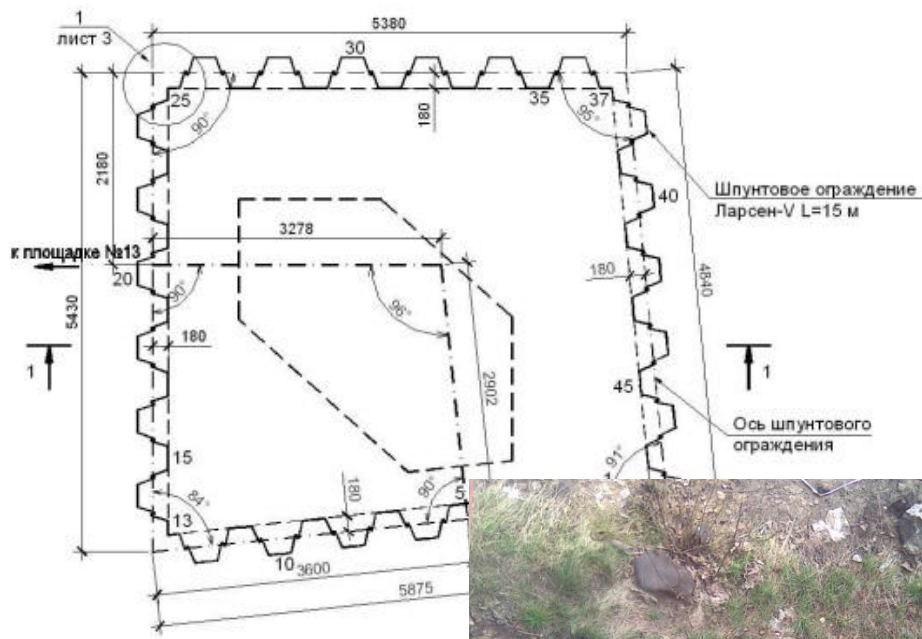


**Схема крепления котлована с помощью стальных труб**



**Схема крепления котлована с помощью двутавровых балок**







# Ограждение котлованов при помощи струйной цементации грунтов

Данная технология имеет ряд преимуществ:

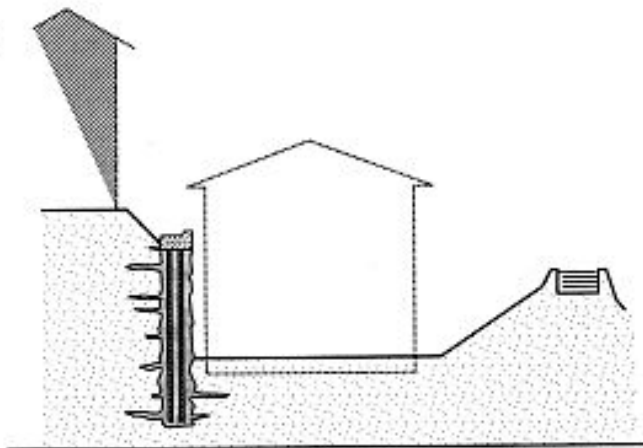
- при устройстве котлована в обводненных грунтах ограждение из грунтоцементных колонн выполняется также функцию противодиффузионной завесы и защищает от поступления воды в котлован;
- высокая производительность (до 150 п.м. в смену);
- минимальное влияние на окружающую застройку (отсутствуют ударные и вибрационные воздействия);
- возможность выполнять сваи ограждения котлована в стесненных условиях, 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.*

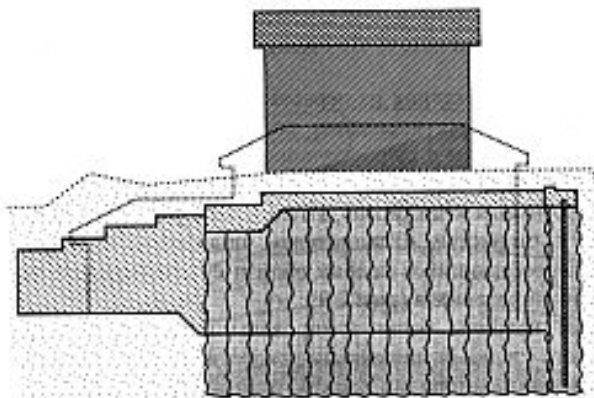
В плане ограждающая конструкция может быть выполнена различной конфигурации: один ряд касательных или отдельно стоящих свай, в шахматном порядке, два ряда для большей надежности.



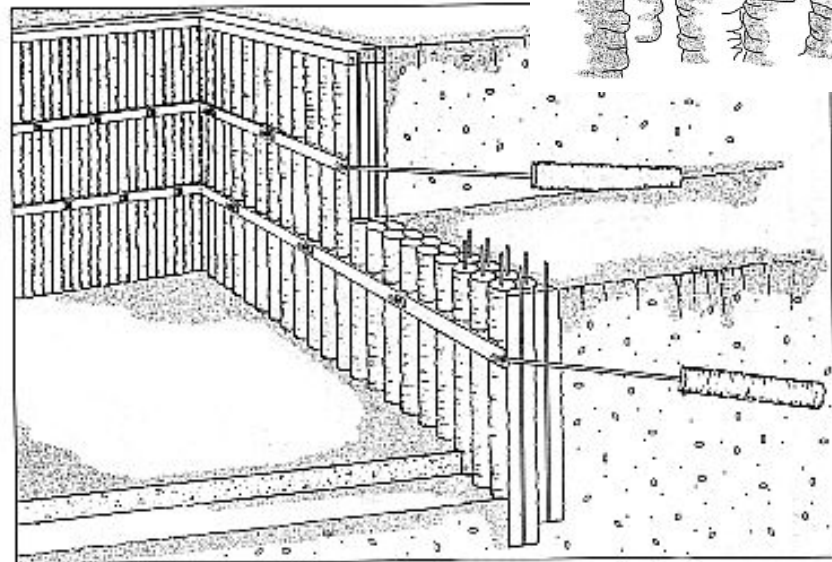
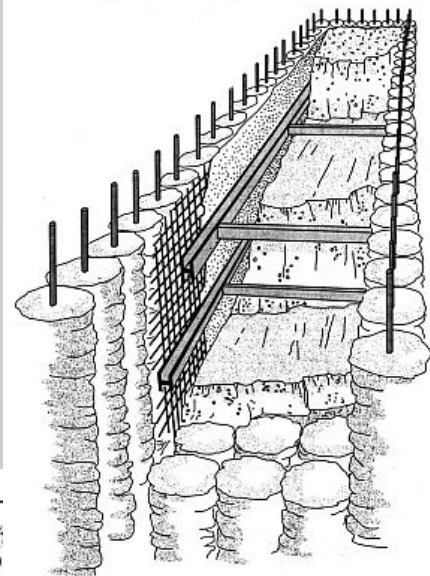
а



б



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

**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;
- фильтрационной устойчивости основания.

**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



# 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.







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 помехи при монтаже конструкций сооружения;
- отпадает необходимость в перекладке распорных элементов;
- применение там, где это возможно, одностороннего крепления ограждения котлована;
- обеспечивается 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.



# Крепление глубоких котлованов, грунтовыми анкерами

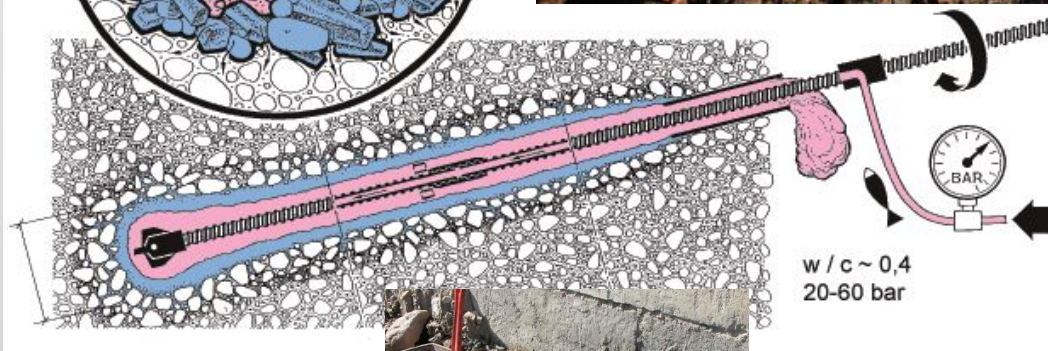
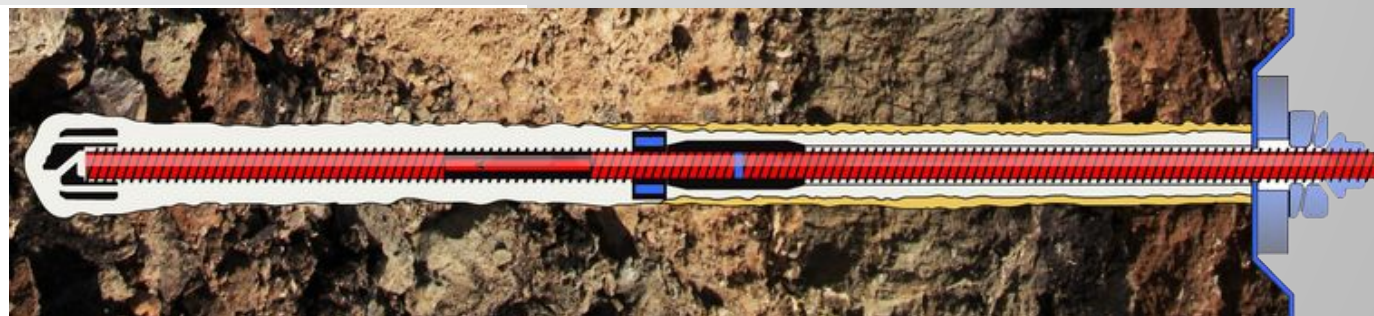
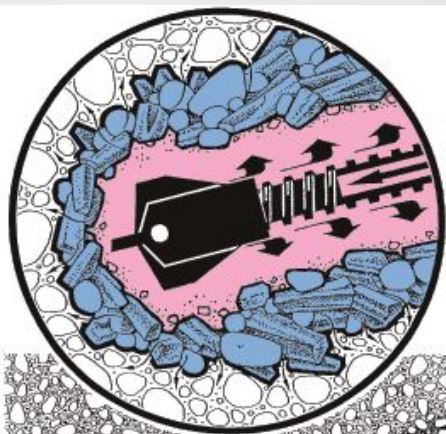


Применяются анкера различных типов и конструкций: гибкие 4 -х - 6 -ти прядевые буринъекционные анкера различной глубины с блокировочным натяжением 40 - 80 тонн, жесткие арматурные анкера длиной до 30 - 40 м и блокировочным натяжением 30 - 40 тонн.





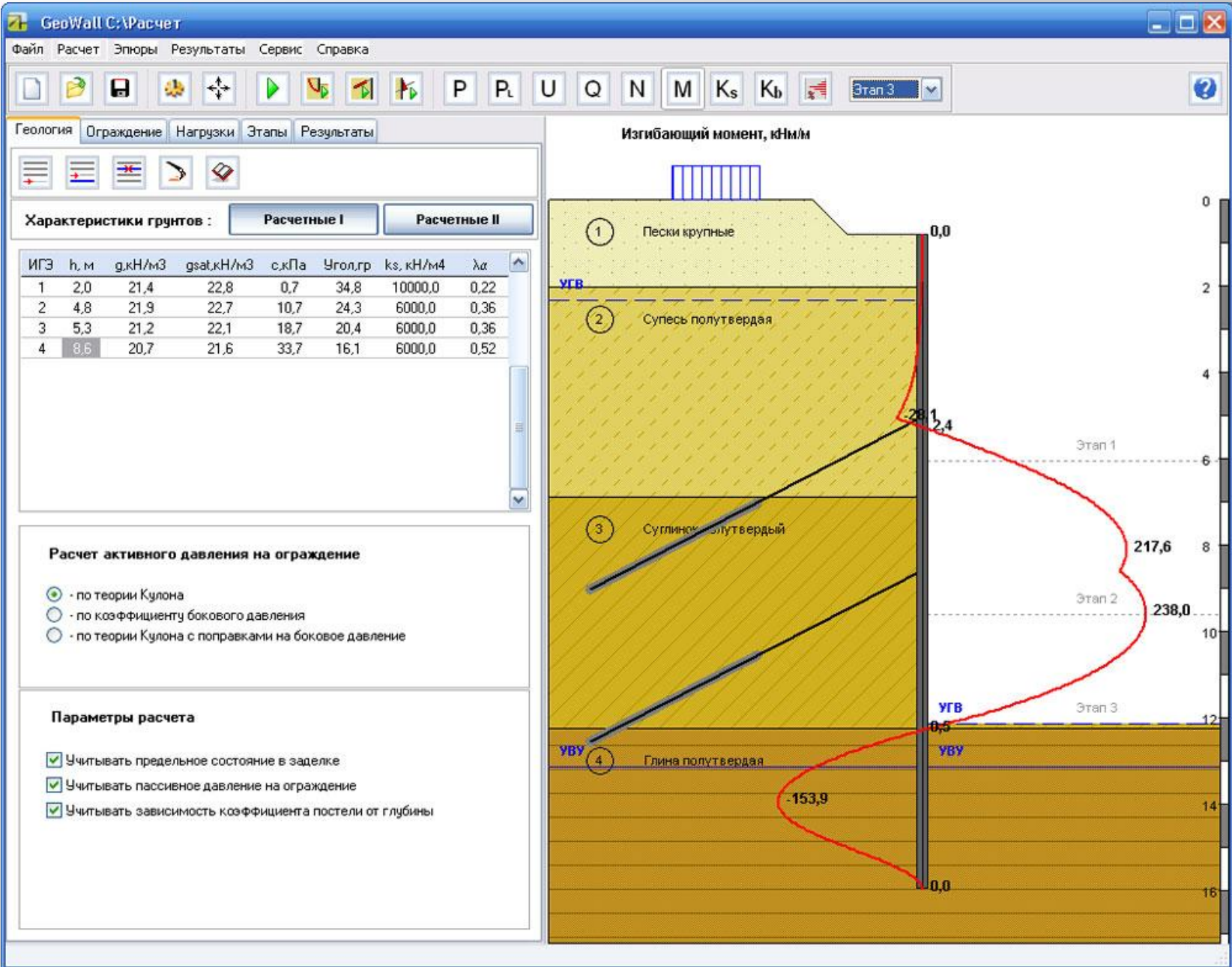












# Строительное водопонижение

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 выбираются в зависимости от параметров котлована, гидрологических и геологических условий, конструкции будущего сооружения и требований технико-экономического характера.

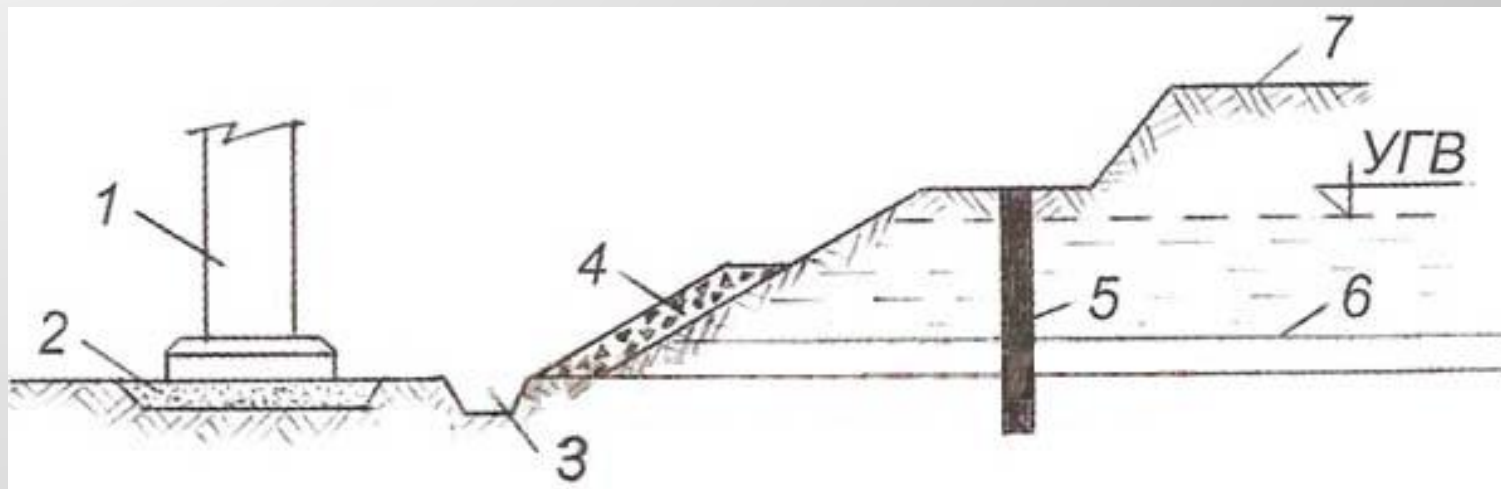


# Защита котлована от грунтовых вод

- 1) искусственным понижением уровня грунтовых вод с помощью спец. водопонижительного оборудования: *электроосушением; вакуумированием с применением вакуумных водопонижительных 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

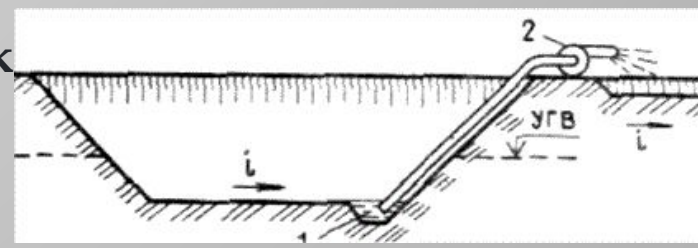
Воду откачивают насосом из котлована. Затем устраивают водосборные канавы глубиной 0,3-0,6 м и более глубокие прямки. Однако при этом может возникнуть оплывание откосов и их приходится пригружать песчано-гравийной смесью. На основе расчетов устанавливается приток воды на 1 м<sup>2</sup> дна котлована в м<sup>3</sup>/ч.



Вариант защиты котлована от грунтовых вод:

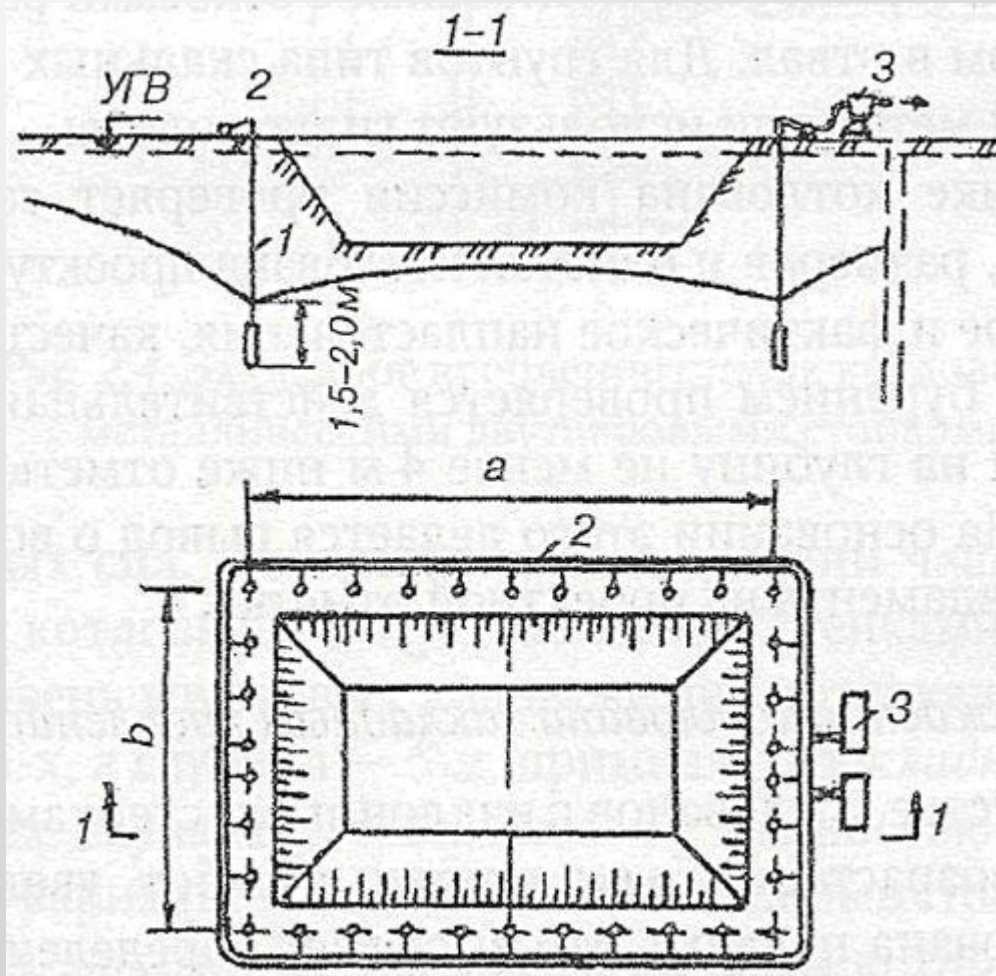
1 – фундамент; 2 – песчаная подушка; 3 – канава для сбора воды;

4 – гравийная пригрузка; 5 – шпунтовая стенка;  
6 - верхний слой водоупора; 7 – уровень земли



## 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).