

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА “МОСТЫ И ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ”

**КОНСПЕКТЫ ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
“ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНЫХ
ТОННЕЛЕЙ”
(РАЗДЕЛ СТРОИТЕЛЬСТВО ТОННЕЛЕЙ)**

ДЛЯ ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ
В580300- СТРОИТЕЛЬСТВО ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ
СООРУЖЕНИЙ

ЛЕКЦИИ -28 ЧАСОВ

СОСТАВИТЕЛЬ: ПРОФ. ИШАНХОДЖАЕВ А.А.

АННОТАЦИЯ

В конспектах лекций приведены основы строительства транспортных тоннелей открытым, закрытым и специальными способами. Описаны элементы горной выработки, освещены сущность разработки грунта механическими инструментами и буровзрывным способом, погрузки и транспортировки грунта.

Отдельные главы конспектов лекций посвящены: описанию горного способа сооружения тоннеля с раскрытием выработки по частям и сплошным забоем; раскрытию сущности щитового способа сооружения тоннелей, требований к конструкциям щита и их классификация, основы расчета щитов, введения щита и возведения тоннельных обделок при щитовом способе.

Отдельная лекция посвящена особенностям изготовления и возведения сейсмостойких конструкций Ташкентского метрополитена.

В конспектах лекций также приведены принципы организации строительства тоннельных работ с составлением циклограмм, описаны задачи и виды вентиляции тоннелей.

Конспекты лекций предназначены для подготовки бакалавров по направлению В 580300 "Строительство гидротехнических и транспортных сооружений".

В конце конспектов лекций приведены схемы используемых и дополнительных литературных источников, учебно-методическая карта дисциплины.

СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕКЦИЯ 1: ЭЛЕМЕНТЫ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ И СПОСОБЫ ИХ ПРОХОДКИ

ЛЕКЦИЯ 2: РАЗРАБОТКА ГРУНТА (ПОРОД) МЕХАНИЧЕСКИМИ
ИНСТРУМЕНТАМИ

ЛЕКЦИЯ 3: РАЗРАБОТКА ГРУНТА БУРОВЗРЫВНЫМ СПОСОБОМ

ЛЕКЦИЯ 4: ПОГРУЗКА И ТРАНСПОРТИРОВКА ПОРОДЫ

ЛЕКЦИЯ 5: СООРУЖЕНИЕ ТОННЕЛЕЙ ГОРНЫМ СПОСОБОМ

ЛЕКЦИЯ 6: ВИДЫ КРЕПЕЙ. КОНТУРНАЯ И ПОЛИГОНАЛЬНАЯ КРЕПИ

ЛЕКЦИЯ 7: СООРУЖЕНИЕ (ВОЗВЕДЕНИЕ) МОНОЛИТНОЙ ТОННЕЛЬНОЙ
ОБДЕЛКИ

ЛЕКЦИЯ 8: СУЩНОСТЬ ЩИТОВОГО СПОСОБА РАБОТ. КЛАССИФИКАЦИЯ
ЩИТОВ

ЛЕКЦИЯ 9: ОСНОВЫ РАСЧЕТА ЩИТОВ

ЛЕКЦИЯ 10: ВВВЕДЕНИЕ ЩИТА И СООРУЖЕНИИ ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК
ПРИ ЩИТОВОМ СПОСОБЕ РАБОТ

ЛЕКЦИЯ 11: СООРУЖЕНИЕ ТОННЕЛЕЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

ЛЕКЦИЯ 12: ОРГАНИЗАЦИЯ ТОННЕЛЬНЫХ РАБОТ

ЛЕКЦИЯ 13: ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ВЕНТИЛЯЦИИ ТОННЕЛЕЙ

ЛЕКЦИЯ 14: ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ВЕНТИЛЯЦИИ
ТОННЕЛЕЙ

ЛЕКЦИЯ 15: ИСКУССТВЕННОЕ УКРЕПЛЕНИЕ ПОРОД В
ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ

ЛЕКЦИЯ 1: ЭЛЕМЕНТЫ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ И СПОСОБЫ ИХ ПРОХОДКИ.

ПЛАН:

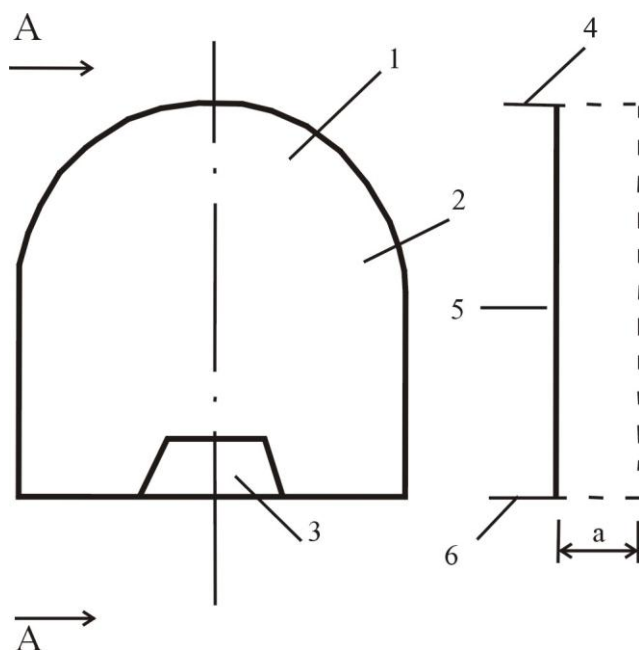
1. Выработка, ее виды и элементы
2. Ствол, ее элементы
3. Раскрытие фронта работ из предпортальной выемки
4. Штольни, их виды, определение ширины и высота штолен.

Ключевые слова и выражения:

выработка; калотта; штросса; штольня; Кровля; забой; подошва; глубина заходки; ствол; устье; околоствольная выработка; подходные штольни; предпортальная выемка; лобовой откос (врезка); глубина предпортальной выемки; штольни-окна; направляющая штольня; фурнели; бремсберги.

Выработка - это искусственно образованная в земной коре полость, предназначенная для разведки и добычи полезных ископаемых, проведения инженерно-геологических изысканий и строительства подземных сооружений (тоннелей).

По положению в пространстве выработки подразделяются на горизонтальные или наклонные, и вертикальные.



1. Калотта
 2. Штросса
 3. Штольня
 4. Кровля выработки
 5. Забой
 6. Подошва выработки
- a_3 - глубина заходки

Вертикальная выработка называется стволом, к которой примыкают устье, околоствольная выработка и подходные штольни.

Как правило, проходка тоннеля начинается с разработки предпортальной выемки и крепления лобового откоса (врезки).

Глубина предпортальной выемки назначается основании экономических расчетов и инженерно-геологических условий:

- для слабых грунтов с коэффициентом крепости $f=0.5\div 3-10\div 15\text{м}$;
- для полускальных и скальных грунтов с коэффициентом крепости $f>3-15\div 25\text{м}$.

Врезка и откосы выемки во избежание вывалов, сползания грунта и обеспечения устойчивости должны быть закреплены и обеспечены защитными козырьками.

Раскрытие фронта работ по проходке может быть произведено как непосредственно из предпортальной выемки, так и из ствола шахты, расположенной по трассе тоннеля, или через штольни-окна, сооружаемых в поперечном к оси тоннеля направлении.

Горно-тоннельные работы обычно начинаются с проходки вспомогательных выработок,— направляющих штолен, которые подразделяются:

- по назначению: направляющие, транспортные, подходные и дренажные.
- по расположению: верхние, нижние, боковые и центральные.

Размер транспортных штолен определяется числом путей и видом используемых транспортных средств (вагонетки, автомобили и др.). В случае размещения одного пути (рис. 1) ширина штольни на уровне верха вагонетки определяется следующим выражением:

$$B_2 = B + C_1 + C_2$$

B - ширина вагонетки

$C_1 = 0,2 \div 0,3 \text{ м}$ - зазор между крепежной рамой и вагонеткой

C_2 - зазор, учитывающий проход людей при движении транспорта

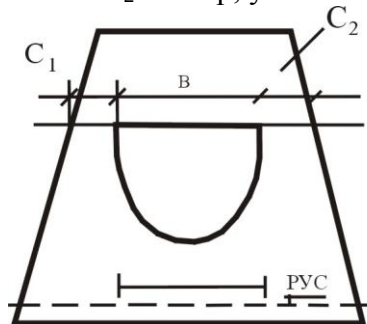


рис 1.

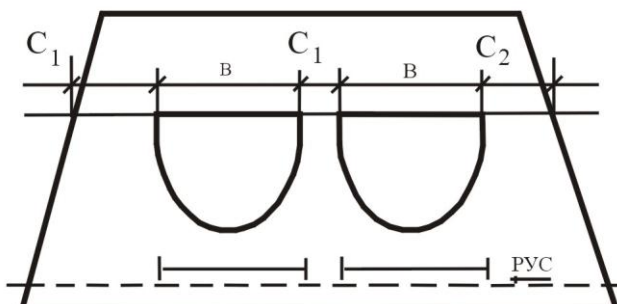


рис 2.

Ширина двухпутной штольни принимается такой, чтобы между вагонетками был зазор не менее 0,2 м.

$$B_2 = 2B + 2C_1 + C_2$$

Высота транспортных штолен должна быть не менее 2,5 м от уровня головки рельса (УГР).

- верхняя и нижняя направляющие штольни
- если по условиям проходки необходимо устройство и верхней и нижней штолен, то они соединяются между собой через определенное расстояние с помощью вертикальных грунтоспусков (фурнелей) или наклонных (а иногда уступчатых) сбоек (бремсбергов).

Контрольные вопросы:

1. Что такое выработка?
2. Что такое калотта?
3. Что такое штросса?
4. Что такое ствол?
5. В чем заключается назначение околоствольной выработки?
6. Как назначается глубина предпортальной выемки?

7. Как осуществляется крепление предпортальной выемки?
8. Какие бывают виды направляющих штолен?
9. Что такое фурнель?
10. Что такое бремсберг?
11. Что такое русский бремсберг?

ЛЕКЦИЯ 2: РАЗРАБОТКА ГРУНТА (ПОРОД) МЕХАНИЧЕСКИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ.

ПЛАН:

1. Степень разрабатываемости горных пород
2. Показатели разрабатываемости горных пород
3. Виды разработки грунта
4. Классификация пород по Протодяконову М.М.
5. Разработка грунта вручную и пневматическими отбойными молотками и лопатками.
6. Компрессорные станции.

Ключевые слова и выражения:

твердость грунта; вязкость грунта; упругость грунта; крепость породы; буримость породы; взрываемость породы; дробимость породы; выветриваемость породы; трещиноватость породы; классификация пород; коэффициент крепости; пневматические инструменты; компрессоры.

Одной из трудоемких операций при проходке выработок является разработка грунта, выполняемая различными способами.

Выбор наиболее рационального способа проходки и назначение необходимого оборудования и механизмов зависит от свойств грунта и инженерно-геологических условий строительства.

Степень разрабатываемости грунта зависит от следующих его свойств:

- твердость т.е. сопротивляемость проникновению разрушающего инструмента;
- вязкость, т.е. сопротивление отрыванию кусков от общей массы грунта;
- упругость- способность грунта быстро возвращаться в первоначальное положение после деформаций, вызванные внешними воздействиями.

Сопротивляемость горных пород к внешним механическим воздействиям, т.е. их разрабатываемость зависит от следующих показателей:

- крепость - т.е. сопротивление породы различным механическим воздействием;
- буримость - т.е. сопротивление породы разрушению в процессе бурения (показатель определяют длиной шпура, пробуренного в единицу чистого времени бурения стандартным перфоратором)
- взрываемость - сопротивление породы разрушению при взрыве, определяемое количеством ВВ, необходимого для разрушения единичного объема работ при удельном расходе ВВ
- дробимость - сопротивление породы разрушению дроблением, определяемое удельным расходом энергии.

При проходке выработок необходимо учитывать и такие характеристики грунта, как выветриваемость и трещиноватость.

В настоящее время разработан; ряд классификаций, подразделяющих грунты по различным признакам и свойствам. В странах СНГ нашла распространение классификация грунтов, предложенная проф. М.М. Протодяконовым, где грунты подразделяют на группы в зависимости от величины коэффициента крепости, объединяющего в себе показатели по различным признакам (таблица).

Разработка грунта может производиться ручным способом, с помощью ручных механизированных инструментов, взрывным способом, специальными машинами

(агрегаты, комбайны), механизированными щитовыми комплексами и специальными методами (термический, гидравлический, ультразвуковой и т.д.)

Классификация пород для подбора проходческих инструментов (способа разработки) в зависимости от буримости

категория классификации	коэффициент крепости	Время чистого бурения 1 м шпура бурильными молотками ОМ-506, мин	Способ разработки
I	03	-	ручной
II	0,5	-	ручные пневматические инструменты
III	0,6÷0,8	-	руч.пнев.инстр
IV	1	до 3,7	буровзр-ной способ
V	1,5÷2	3,7÷4,9	буровзр-ной способ
VI	3	4,9÷6,6	-II-
VII	4	6,6÷8,9	-II-
VIII	5-8	8,9÷12,1	-II-
IX	10	12,1÷16,5	-II-
X	15	16,5÷22	-II-
XI	20	22 и более	-II-

Ручная разработка грунта с помощью лопат, кайла и ломов применяется в исключительных случаях (небольшой объем работы в случае неустойчивых грунтов, вспомогательные работы по очистке подошвы выработки и т.д.).

Разработка мягких слабых грунтов и грунтов средней крепости ($f = 0,6 \div 1,5$) производится пневматическими отбойными молотками и лопатами. По массе они бывают: легкие (8 кг), средние (9-10 кг) и тяжелые (12,4 кг).

Требуемые для приведения в действие пневматических инструментов сжатый воздух давлением 5-8 атм вырабатывается на передвижных (6-9 м³/мин) и стационарных компрессорных станциях.

Производительность компрессорной станции $P_R = (U_P + U_n) K_B K_o$

где: U_P - общий расход воздуха пневматическими инструментами и машинами

U_n - потери воздуха в соединениях

K_B - коэффициент, учитывающий разрежение воздуха на высоте свыше 1 км над уровнем моря и равный 1,5÷1,6

K_o - коэффициент одновременности работы пневматических устройств, равный 1-0,55.

Компрессоры требуемой производительности и давления подбирают по типам и маркам. Расход охлаждающей воды принимают в среднем 4,0 ÷ 4,5 л на 1 м³ всасываемого воздуха.

Для успешной работы отбойными молотками необходимо:

- 1) знание рабочих конструкций молотка
- 2) правильное использование свойств горных пород
- 3) персональное закрепление молотка
- 4) умелый подбор формы пика и качественная их закалка.

Контрольные вопросы:

1. От каких свойств грунтов зависит степень их разрабатываемости?
2. Какие показатели горных пород определяют степень их разрабатываемости?
3. В чем сущность классификации пород по Протодяконову М.М.?
4. В каких случаях производится ручная разработка грунта с помощью лопат, кайла и ломов?
5. Какие существуют виды, в чем заключается назначение пневматических инструментов?
6. Какие существуют виды, в чем заключается назначение компрессорных станций?
7. Как определяется производительность компрессорной станции?
8. Какие требования предъявляются при работе с отбойными молотками?

ЛЕКЦИЯ 3: РАЗРАБОТКА ГРУНТА БУРОВЗРЫВНЫМ СПОСОБОМ.

ПЛАН:

1. Сущность и цикл буровзрывного способа работ
2. Параметры буровзрывных работ
3. Назначение врубовых, отбойных и контурных шпуров
4. Вращательное, ударно-поворотное и вращательно-ударное бурение
5. Определение диаметра и глубины шпуров
6. Определение расхода ВВ
7. Средства взрывания

Ключевые слова и выражения:

буровзрывной способ; буровой инструмент; бурение шпуров; заряджение шпуров; взрывание; проветривание забоя; длина шпура; оконтуривание взорванного пространства; врубовые шпуры; отбойные шпуры; контурные шпуры; коэффициент использования шпура; глубина комплекта шпура; вращательное бурение; ударно-поворотное бурение; вращательно-ударное бурение; длина шпура; глубина шпура; коэффициент заполнения шпура; коэффициент сближивания зарядов.

Разработка грунтов буровзрывным способом может быть осуществлена при постройке тоннелей в породах с широким диапазоном крепости (IV и высших категорий) и ввиду экономичности получила широкое распространение.

Бурильные машины, применяемые для бурения шпуров и скважин на подземных работах, подразделяются:

- 1) по роду энергии;
- 2) области применения;
- 3) по способам подачи исполнительного органа работы и установки машин.

Процесс производства буровзрывных работ состоит из ряда чередующихся по времени операций, составляющих цикл буровзрывных работ:

- 1) установка бурового инструмента и бурение шпуров;
- 2) заряджение шпуров ВВ (забойка) и их взрывание;
- 3) проветривание забоя;
- 4) осмотр и выравнивание контура взорванного пространства;
- 5) уборка и откатка породы от забоя.

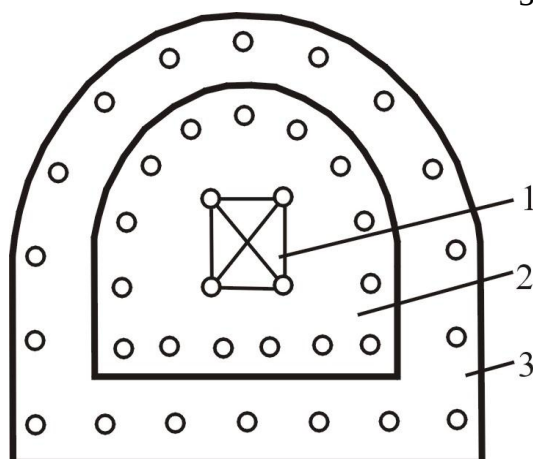
Оптимальные параметры буровзрывных работ обеспечиваются в основном за счет рационального расположения шпуров, правильного выбора типа и количества ВВ, конструкции зарядов и способа взрывания. Эффективным называется такой взрыв, который обеспечивает расчетное продвижение забоя при максимальном использовании длины шпуров и оконтуривание выработки, приближающегося к проектному очертанию. Взрыв должен обеспечивать равномерное и достаточное (для удобства погрузки) дробление породы и возможно меньший разлет обломков породы при взрыве (кучность взрыва).

Качество взрыва в значительной мере зависит от расположения шпуров в забое (рисунок), которых разделяют на врубовые, отбойные (вспомогательные) и контурные.

Назначение врубовых шпуров — образование дополнительной плоскости обнажения путем их первоочередного взрывания зарядами повышенной мощности. Это создает более благоприятные условия для работы остальных шпуров.

1. Буровые шпуры

2. Отбойные шпуры
3. Контурные шпуры



Отбойные шпуры, располагаемые между врубовыми и контурными шпурами, предназначены для разрушения основной массы грунта в забое. В зависимости от площади забоя их располагают в один, два или три ряда, чтобы на каждый шпур приходилось примерно одинаковый объем взрываемого грунта.

Контурные шпуры, располагаемые равномерно по периметру выработки, предназначены для разрушения грунта по контуру выработки. При отсутствии отбойных шнуров в выработках малого поперечного сечения они разрушают основную массу грунта в забое.

В результате взрыва шпур разрушается, но не на всю длину. Отношение разрушившейся части шпура l_p к его полной длине $l_{ш}$ называется коэффициентом использования шпура (КИШ):

$$\eta = \frac{l_p}{l_{ш}}$$

В горизонтальных выработках $\eta = 0,8 \div 0,9$. Проекция отбойных и контурных шнуров на продольную ось выработки называется глубиной комплекта шпуров l_k . Глубина заходки $l_z = l_k \eta$.

Приведем ориентировочные значения допускаемой глубины заходки по условию устойчивости обнаженной выработки:

Коэффициент крепости грунта f	глубина заходки $l_z, м$
2-4	1,0-1,5
5-6	1,5-2,0
7-8	2,0 - 2,5
>8	2,5 - 4,0

Наиболее трудоемким процессом является бурение шпуров, осуществляемые с применением механических машин вращательного, ударно-поворотного и вращательно-ударного действия.

Вращательное бурение с помощью электросверла обеспечивает высокие скорости бурения в грунтах мягкой и средней крепости ($f = 1 \div 7$). Электросверла подразделяются по массе: -на ручные массой до 20 кг (для бурения в мягких грунтах $f=1 \div 2$); ручные с массой

20-24 кг с принудительной подачей (для бурения в грунтах мягкой и средней крепости с $f=1\div 4$) и колонковое массой 110 кг с механизмом подачи (для бурения с помощью колонки или манипулятора в крепких грунтах с $f=4\div 7$).

Ударно-поворотное бурение, осуществляемое пневматическими бурильными молотками (перфораторами), используются для бурения шпуров и неглубоких скважин малого диаметра в грунтах различной крепости ($f= 2+20$).

Пневматические бурильные молотки подразделяются на:

- ручные, предназначенные для бурения горизонтальных и наклонных шпуров;
- телескопические, для бурения шпуров и скважин в направлении снизу вверх;
- колонковые, для бурения горизонтальных и наклонных шпуров и скважин;

Вращательно-ударное бурение включают в себя элементы первых двух способов бурения.

Диаметры шпуров в зависимости от принятого бурового оборудования и крепости грунтов назначается:

34-38 мм - при использовании ручных перфораторов;

42-46 мм - при применении тяжелых колонковых перфораторов.

Общее количество шпуров определяется из выражения:

$$N = \frac{P_k}{d_k} + \frac{P_n}{a_n} + \frac{127q_c S'}{d^2 K_3 \Delta K_\Delta} + \sqrt{S'}$$

где: P_k - периметр выработки по линии расположения контурных шпуров, м;

d_k - расстояние между контурными шпурами, м

P_n - ширина выработки по подошве, м;

a_n - расстояние между подошвенными шпурами, м;

d - диаметр патрона ВВ, м;

K_3 - коэффициент заполнения шпура;

Δ - плотность патронирования или заряжения ВВ, г/см³ (в зависимости от вида ВВ $\Delta = 1,0\div 1,45$);

K_Δ - коэффициент уплотнения заряда порошкообразных и пластичных ВВ в процессе заряжения ($K_\Delta = 1,05+1,15$);

$S'=S-S_{\text{конт}}$ - площадь ядра сечения тоннеля (площадь сечения тоннеля S за вычетом площади выработки $S_{\text{конт}}$, взрывающей контурными зарядами), м²

здесь: $S_{\text{конт}} = (N_k - 1)a_k W_k$

$$N_k = \frac{P_k}{a_k}$$

где: a_k - число контурных шпуров;

$$W_k = \frac{a_k}{m_k}$$

m_k - линия наименьшего сопротивления (ЛНС) контурных зарядов (кратчайшее расстояние между контурными зарядами)

здесь: m_k - коэффициент сближения зарядов;

для крепких грунтов - $m_k= 1,1\div 1,3$

для трещиноватых - $m_k=0,8\div 0,9$

Глубина шпуров в зависимости от размеров выработки, свойств пересекаемых грунтов, типа бурового оборудования, принятой схемы организации работ назначается:

2-2,5 м - при бурении ручными перфораторами;

2,7-4,0 м - при бурении бурильными установками;

5-6 м - при сооружении тоннелей большого поперечного сечения.

Взрывчатые вещества выбирается из условий их размещения, крепости взрываемых грунтов, стоимости ВВ, безопасности при обращении с ними.

Общий расход ВВ на цикл, кг/м³, для разрушения грунта в выработке с площадью поперечного сечения S на глубину заходки l_3 определяется по формуле:

$$Q = q_c \cdot S \cdot l_z$$

здесь: q_c - средний расход ВВ, кг/м³, зависит от трещиноватости, прочности грунтов, сечения выработки, работоспособности ВВ, плотности заряжения и т.д.

Для выработок сечением более 20 м² с одной плоскостью обнажения забоя и коэффициентом крепости $f = 16-18$:

$$q_c = \left(0,3\sqrt{f} + \frac{2}{\sqrt{S}} \right) e \psi \omega$$

где $e = 0,65 \div 1$, 1 - коэффициент, работоспособности ВВ;

$\psi = 1 \div 1,1$ - коэффициент влияния плотности заряжения;

ω от 0,6 ÷ 0,8 до 2,0 - коэффициент структуры грунта.

Взрывание зарядов может быть электрическое, огневое, электроогневое и бескапсульное - детонирующим шнуром.

Средства взрывания (СВ), обеспечивающие детонацию (возбуждение взрыва) зарядов, состоят из капсул - детонаторов (КД), огнепроводных шнуров (ОШ), электродетонаторов (ЭД) мгновенного, короткозамедленного и замедленного действия.

Контрольные вопросы:

1. Какие существуют виды бурильных машин для бурения шпуров?
2. Из каких операций состоит цикл буровзрывных работ?
3. Какие параметры обеспечивают оптимальность буровзрывных работ?
4. Как обеспечивается эффективность взрыва при разработке породы?
5. Какие существуют виды шпуров при буровзрывных работах?
6. Как располагаются в забое и в чем назначение врубовых шпуров?
7. Как располагаются в забое и в чем назначение отбойных шпуров?
8. Как располагаются в забое и в чем назначение контурных шпуров?
9. Что такое коэффициент использования шпуров?
10. Что такое глубина комплекта шпуров?
11. Как определяется глубина заходки при буровзрывных работах?
12. Какие существуют виды бурения шпуров?
13. Что такое вращательное бурение?
14. Что такое ударно-поворотное бурение?
15. Что такое вращательно-ударное бурение?
16. Как определяется диаметр шпуров при буровзрывных работах?
17. Как определяется общее количество шпуров при буровзрывных работах?
18. Как назначается глубина шпуров при буровзрывных работах?
19. В зависимости, от каких параметров выбирают ВВ при буровзрывных работах?
20. Как определяется общий расход ВВ при буровзрывных работах?
21. Какие существуют способы взрывания зарядов при буровзрывных работах?
22. Из чего состоят средства взрывания при буровзрывных работах?

ЛЕКЦИЯ 4: ПОГРУЗКА И ТРАНСПОРТИРОВКА ПОРОДЫ.

ПЛАН:

1. Виды и основные характеристики породопогрузочных машин в тоннелестроении.
2. Определение производительности породопогрузочной машины.
3. Виды подземного транспорта, используемой в тоннелестроении.
4. Определение веса состава при электровозной откатке пород.

Ключевые слова и выражения:

породопогрузочные машины; транспортер; вагонетки; ширина колец; коэффициент использования машины; коэффициент разрыхления породы; коэффициенты заполнения вагонетки; коэффициент сцепления колёс с рельсами; тормозное замедление.

Погрузочные машины. Удаление породы из выработки - одна из наиболее трудоемких операций, занимающий до 40 % времени проходки. Эта операция состоит из погрузки породы, в транспортные средства и ее перемещения к месту отвала. Главным направлением механизации погрузочных работ в забоях подземных выработок является применение погрузочных машин, обеспечивающих надежную уборку породы крупной кусковатости в любых условиях. Существуют три группы погрузочных машин:

- 1) с забирающим аппаратом, работающим по принципу одноковшового экскаватора, с разгрузкой породы непосредственно в вагонетки;
- 2) работающие по принципу прерывистого черпания с предварительной подачей породы на транспортер и последующей погрузкой в вагонетки;
- 3) с непрерывно работающим аппаратом и подачей породы в вагонетки при помощи транспортера.

Основные характеристики породопогрузочных машин периодического действия.

Характеристики	ПМЛ-5К	ППН-2	ППМ-4П	ППМ-4Э	МПР-6 1МГ>	"Конвей - 100"
Род энергии	пневматическая			электрическая		
Емк. ковша м ³	0.17	0.32	0.32	0.32	0.38	0.78
Число черпаний в минуту	3-4	2-3	4-5	4-5	4-5	2-3
Фронт погрузки, м	2.4	2.5	4.0	4.0	3.9	6.1
Макс крупность кусков пород в мм	400	400	450	450	600	750
Ширина колеи, мм	600; 750	600; 750; 900	600; 750; 900	600; 750; 900	750; 900	900
Габариты в рабочем сост., м высота ширина длина	2.20 1.45 2.44	2.35 1.59 2.55	2.09 1.70 7.44	2.09 1.70 7.44	2.80 1.97 6.52	4.17 2.03 11.28
Масса, т	3.50	4.70	9.0	9.0	8.8	18.3
Миним. теор, произвол., м ³ /ч	30	40	75	75	90	90

Фактическая производительность Р (м³/с) погрузочной машины в отличие от технической зависит от конкретных условий ее применения и может быть определено формулой:

$$P = \left(\frac{60\varphi}{K \left(\frac{t}{V_2\eta_2} + \frac{t_1}{V_1\eta_1} + \frac{t_2}{nV_1\eta_1} \right)} \right)$$

здесь: φ - коэффициент использования машины, равный 0.80-0.85;

K - коэффициент разрыхления породы, равный 1.1 -2.2;

t , t_1 и t_2 - продолжительность соответственно: цикла
машины, смены груженой вагонетки порожней и
груженого состава порожным, мин;

V_1 и V_2 - объем вагонетки и ковша машин, м³

η_1 и η_2 - коэффициенты заполнения вагонетки и ковша машины,
равные 0.5÷0.8

Подземный транспорт.

В тоннелестроении применяются для транспортирования породы рельсовый и безрельсовый, в том числе непрерывный вид транспорта. В состав основных элементов рельсового транспорта входит рельсовый путь, вагонетки и подвижные двигатели.

В качестве подвижных двигателей для подземной откатки преимущественно применяются электровозы, основные характеристики которых приведены в следующей таблице.

Марка электровоза	Сцепной вес, т	Ширина колеи, мм	Номинальное напряжение тока, в	Тяговые характеристики		
				Номинальная мощность КВТ	Скорость при номинальном напряжении км/ч	Тяговое усилие, кг
КК и ККР	3 7 10	600, 750, 900	250	12 40 50	8,11	500 1300 1700
КР	14 20	750 900	250 500	82	12,5	2400
АРН	8	600, 750, 900	120	20	6,5	1150
АРП	12	750, 900	160	30	6	1800

Вес состава при электровозной откатке ограничивается силой тяги электровоза, определяемой по условию сцепления при трогании с места, длиной тормозного пути и мощностью тяговых двигателей.

По условию сцепления при трогании с места на подъеме i % вес состава (тс) не должен превышать величины:

$$Q' = \frac{1000\psi' P_c}{\omega'_{cp} + i + 110a} - P$$

где $\psi' = 0.25$ - коэффициент сцепления колес с рельсами

P_c и P - соответственно сцепной и полный веса электровоза, тс

ω'_{cp} - удельное сопротивление груженной вагонетки при трогании (8-9 кгс/тс) a - пусковое ускорение (0.03-0.05 м/с²)

По условию торможения груженого состава на спуске i % вес состава (тс) не должен превышать величины:

$$Q' = \frac{1000\psi''P_c}{\omega''_{cp} + i + 110a_T} - P$$

Здесь: $\psi'' = 0,17$;

P_T - тормозной вес электровоза

ω''_{cp} - удельное сопротивление груженой вагонетки

$$a_T = \frac{V_T}{2S}$$

a_T - тормозное замедление

V_T - скорость начала торможения

S - длина пути торможения.

Контрольные вопросы:

1. Какие виды породопогрузочных машин используются в тоннелестроении?
2. Как определяется фактическая производительность породопогрузочной машины?
3. Какие виды подземного транспорта используется в тоннелестроении?
4. Как определяются вес состава при электровозной откатке породы по условию сцепления колес с рельсами?
5. Как определяется вес состав при электровозной откатке по условию торможения груженого состава?

ЛЕКЦИЯ 5: СООРУЖЕНИЕ ТОННЕЛЕЙ ГОРНЫМ СПОСОБОМ.

ПЛАН:

1. Этапы возведения тоннелей горным способом.
2. Разработки породы способом опертого свода.
3. Разработка породы способом полностью раскрытого сечения.
4. Разработки породы способом опорного ядра.
5. Разработка породы способом сплошного забоя.

Ключевые слова и выражения:

предпортальная выемка; анкера; смолы; подпорная стена; лобовой откос (врезка); опережающая выработка; направляющая штольня; окна – штольни; геодезическая основа; фурнель; бремсберг; опёртый свод; опорное ядро.

Основные работы по возведению тоннеля- это разработка грунта и возведение обделки. В зависимости от грунта применяют различные способы работ и виды крепей. Горный способ сооружения тоннелей состоит из следующих этапов:

1. Разработка следующих элементов выработки: калотта, штросса, штольня, ствол, забой;
2. Устройство временной крепи. Существуют следующие виды крепей: деревянная (с недостатками и преимуществами), металлическая (с преимуществами и недостатками), железобетонная.
3. Разработка предпортальной выемки с креплением откосов с использованием торкретных, набрызг-бетонных или аэрированных покрытий, в случае необходимости с применением анкеров и металлических сеток. В случае необходимости применяются способы закрепления грунтов откоса при помощи нагнетаемого раствора или химически (эпоксидные, фурфуроловые, полиэфирные и др. смолы). При разработке грунтов в подсеченных пластах, имеющих падение в сторону проезжей части, с целью предотвращения сползания (обвала) рыхлых грунтов применяются подпорные стены различной конструкции (бутовые на цементном растворе, бутобетон, бетон, монолитный и сборный железобетон).
4. Крепление лобового откоса (врезки) с возведением системы деревянного крепления (горизонтальные бревна, прогоны; наклонные балки, подкосы, лежни, сваи-коротыши и др.).
5. Проходка опережающей выработки (в случае длины тоннеля более 300 м), используемой для уточнения инженерно-геологических и гидрогеологических данных, осушения основной выработки и устройства дренажа, размещения откаточных путей, улучшения вентиляции, проходки ходов подземной геодезической основы и раскрытия дополнительных забоев для расширения фронта работ.
6. Раскрытие фронта работ по проходке тоннеля, осуществляемая непосредственно из предпортальной выемки, из ствола шахт, расположенной по трассе тоннеля или через штольни - окна, сооружаемые в поперечном к оси тоннеля направлении. В качестве опережающих выработок используют направляющие штольни (верхние или нижние).
7. В случае возведения тоннелей большого поперечного сечения, когда необходимо устройство и нижней и верхней штолен, то они соединяется между собой с помощью вертикальных грунтоспусков (фурнелей) или наклонных сбоек (бремсбергов), расстояние между которыми назначается соответственно не более 12 и 30 м. В достаточно устойчивых грунтах может быть применена уступчатая сбойка (русский бремсберг).

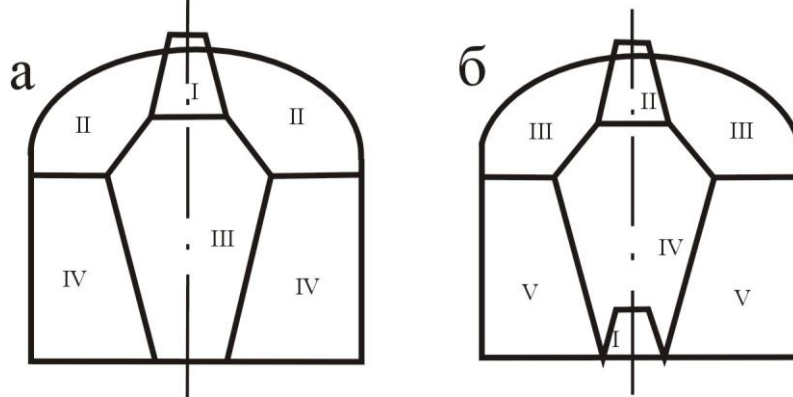
В тоннелестроении применяют различные виды горных способов возведения тоннелей. Для мягких пород они могут быть объединены в четыре группы:

- 1) способ опертого свода
- 2) способ полностью раскрытого сечения

- 3) способ опорного ядра
- 4) способ сплошного забоя

При способе опертого свода разработку породы и возведение обделки ведут отдельными частями по направлению от свода к нижней части профиля.

Существуют две схемы разработки профиля по этому способу: а) одноштольный вариант способа опертого свода (рис 2 а); б) двухштольный вариант способа опертого свода (рис 2 б)



В рис 2 а:

- I - верхний направляющий ход
- II - расширение калоттного профиля
- III - средняя часть штроссы, разрабатываемая после кладки свода и его отвердения
- IV - боковые части штроссы

В рис 2б:

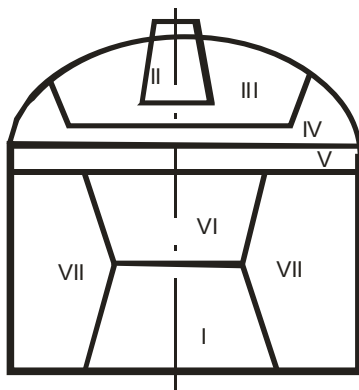
- I - нижняя направляющая штольня
- II - верхняя штольня
- III - расширение калотты
- IV - средняя часть штроссы, разрабатываемая после кладки свода и его твердения
- V и VI - боковые части штроссы, стены, которых возводятся в шахматном порядке.

В обоих вариантах обратный свод или лоток возводится в последнюю очередь.

Этот способ применим в породах, на которых можно безопасно передать давления от пят свода. Например: мергели, глины, сухой лесс, плотные суглинки и скальные породы.

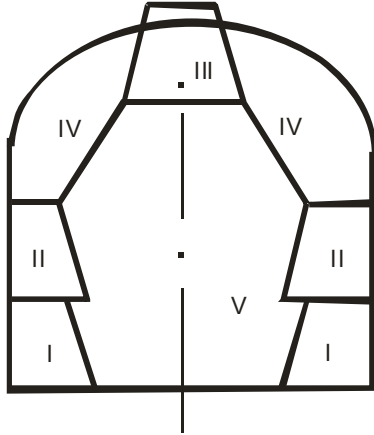
При способе полностью раскрытого сечения разработку породы ведут от верхней части профиля, а возведение обделки - от нижней. Этот способ целесообразно применять в мягких породах, не оказывающих большого давления на крепи и не требующих для разработки ВВ. Например: сланцы, мергели.

Последовательность работ по способу полностью раскрытого сечения.



При способе опорного ядра разработку породы и сооружение обделки ведут отдельными частями, начиная с нижней части профиля и заканчивая в верхней части. Этот способ применялся в сравнительно слабых и водонасыщенных породах. Например, водоносные мелкозернистые пески, слабые суглинки, сильно пластичные глины. Этот способ применяется также при сооружении тоннелей больших пролетов в более прочных породах.

Последовательность проходки способом опорного ядра.



V- ядро, разрабатываемая после возведения обделки, как стен, так и свода.

При способе сплошного забоя раскрывают выработку в один прием с установкой в случае необходимости временной крепи. Этот способ применяется в устойчивых скальных породах.

Контрольные вопросы:

1. Из каких этапов состоит горный способ возведения тоннелей?
2. В чем сущность разработки породы способом опертого свода?
3. В чем сущность разработки породы способом полностью раскрытого сечения?
4. В чем сущность разработки породы способом опорного ядра?
5. В чем сущность разработки породы способом сплошного забоя?

ЛЕКЦИЯ 6: ВИДЫ КРЕПЕЙ. КОНТУРНАЯ И ПОЛИГОНАЛЬНАЯ КРЕПИ

ПЛАН:

1. Требования, предъявляемые к конструкциям крепей.
2. Виды и конструкции деревянных крепей.
3. Виды и конструкции стальных крепей.

Ключевые слова и выражения:

крепь; кружала; полигональная крепь; арочная крепь; замковая часть; рандбалки.

С целью, исключения обвала кровли применяются различные конструкции крепей, которые должны удовлетворять следующим требованиям: обладать пространственной жёсткостью и геометрической неизменяемостью, минимальным объёмом материала крепи и перебора породы, простотой конструктивных элементов и удобством их установки, возможностью усиления крепи и ее инвентарного использования.

Крепи по материалу бывают: деревянные, металлические и комбинированные. Самым популярным являются деревянные крепи, однако они имеют ряд недостатков: требуется излишний перебор породы из-за необходимости смещения концов досок в сторону выработки после их частичной забивки и другие.

Более совершенной и удобной в работе являются стальная кружальная и деревянная полигональная крепи. При проходке в крепких - скальных породах применяют стальную арочную крепь, простейшая конструкция которой выполняется в виде двух полуарок, соединяемых в замковой части и устанавливаемых непосредственно на породу (рис. 1). Эта конструкция применима в случае, когда нет необходимости крепить стены выработки.

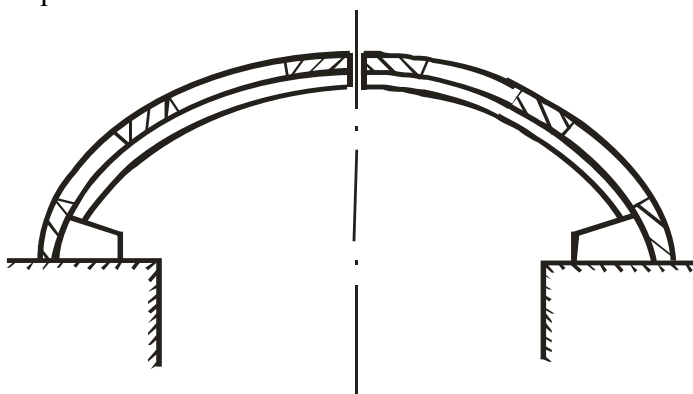


Рис 1.

При необходимости крепить выработку на полный профиль в конструкцию крепи вводят промежуточные элементы - двутавровые балки, укладываемые под пяты арок после раскрытия калотты, а при последующей разработке нижней части профиля подводят стойки в плоскости арок и скрепляют их с промежуточными балками (рандбалками) на болтах (рис. 2). Роль рандбалок сводится к поддержке арок во время взрывания нижней части.

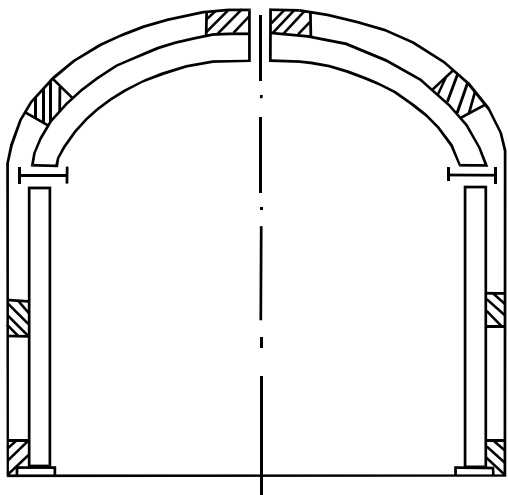


Рис 2.

При способе опорного ядра стальную крепь можно применять по следующей схеме (рис 3.)

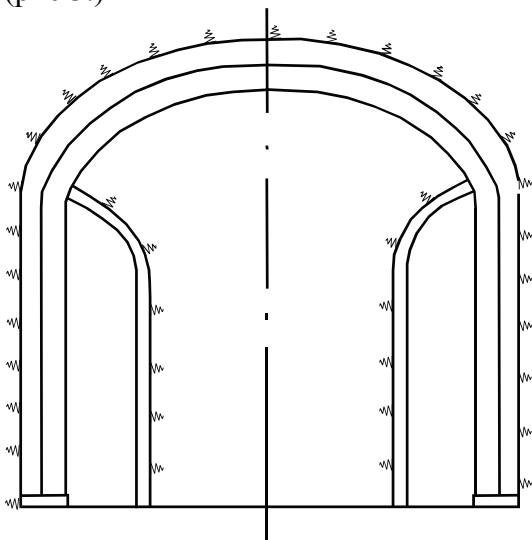


Рис 3.

Стальную крепь особенно целесообразно применять в безлесных районах, а также при проходке тоннелей большого протяжения, где можно эффективно создавать большой фронт бетонных работ.

Полигональная крепь представляет собой сочлененную из деревянных элементов (1,5-2 м) конструкцию, которую ставят по контуру выработки вслед за разработкой забоя (рис. 4). Эта конструкция должна быть тщательно расклинена в породе во избежание её геометрической изменяемости.

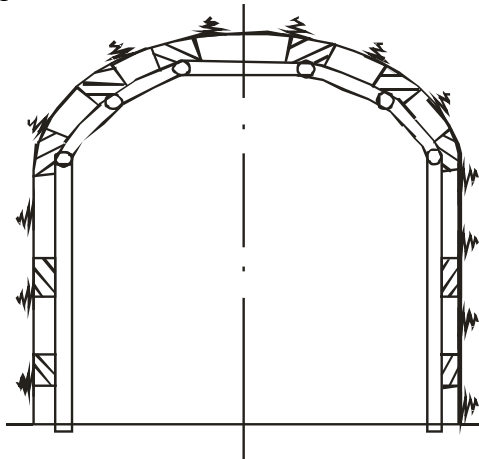


Рис 4.

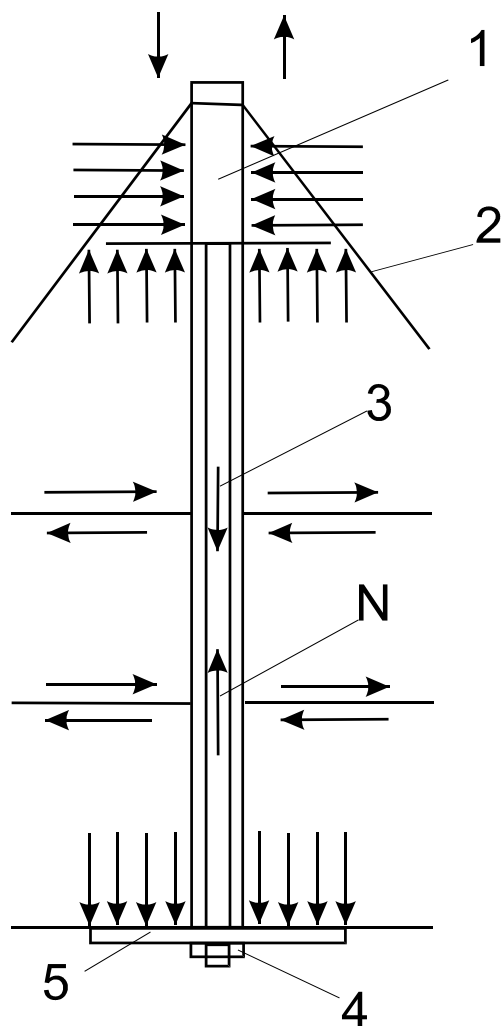


Схема штанговой крепи.

Контрольные вопросы:

1. Какие требования предъявляются к конструкциям крепей?
2. Какие существуют виды крепей по материалу?
3. В каких случаях применяется стальная арочная крепь в виде двух полуарок (нарисуйте рисунок и объясните)?
4. Какой вид стальной крепи применяется в случае необходимости крепления выработки на полный профиль (нарисуйте рисунок и объясните)?
5. В чем особенность стальной крепи, применяемой при способе опорного ядра (нарисуйте схему)?

ЛЕКЦИЯ 7: СООРУЖЕНИЕ (ВОЗВЕДЕНИЕ) МОНОЛИТНОЙ ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ.

ПЛАН:

1. Параллельная и последовательные системы организации работ при сооружении монолитной тоннельной обделки.
2. Бетонирование обделок в мягких породах.
3. Бетонирование обделок скальных породах.
4. Набрызг-бетон.
5. Нагнетание растворов за обделку.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА И ВЫРАЖЕНИЯ:

параллельная и последовательные системы организации тоннельных работ; кружала; лекале; опалубка.

Из всех материалов для монолитных тоннельных обделок наиболее целесообразным является бетон, доставку и укладку, которой можно полностью механизировать, а свойства самого бетона позволяет придать обделке тоннеля любую требуемую геометрическую форму. Однако, требуется четкая организация всех процессов бетонного хозяйства. Последовательность и взаимная увязка работ по проходке тоннеля и сооружению обделки зависят от ряда факторов, из которых главнейшие - инженерно-геологические условия, физические объемы и способы ведения работ.

В тоннелестроении применяются две системы организации работ: параллельная и последовательная.

При параллельной системе работы по проходке и бетонированию совмещают по времени для различных участков тоннеля; при последовательной системе сначала выполняют проходку на участке большого протяжения (иногда всего тоннеля), а затем бетонировать.

Первая система, более распространенная, сокращает сроки возведения и стояния выработки на временных креплениях, но требует больших материалов и людских ресурсов. Вторая система применяется в монолитных скальных породах при небольшой длине и малых размерах поперечного сечения тоннеля. Этот способ экономичен из-за сокращения затрат энергии, рабочей силы и оборудования, однако требует большого срока ведения строительных работ.

Подача бетона может быть осуществлена различными механизированными способами. Однако, необходимо обеспечить, чтобы время подачи бетона не превышала 40-50 минут.

Бетонирование обделок в мягких породах.

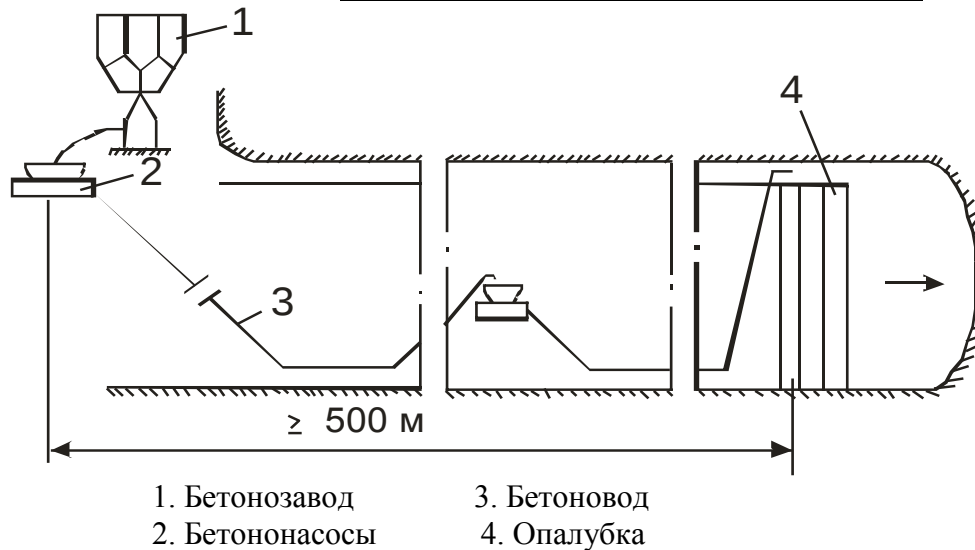
Все виды монолитных тоннельных обделок требуют для своего возведения устройства кружал, лекал и опалубки. Кружала и могут быть стальными и деревянными. Стальные кружала изготавливают из двутавровых и швеллерных балок, составляемых из двух и более частей и соединенных между собой накладками на болтах, а в отдельных случаях,- в виде клепаных или сварных ферм. Деревянные кружала изготавливают с соблюдением специальных требований. Выбор материала бетона и цемента производят согласно "Технических условий на производство бетонных и железобетонных работ при строительстве тоннелей".

Для опалубки применяют доски или бруски толщиной 5-7 см и шириной 5-13 см, для бетонной кладки сплошь строганные, а для бутовой – в разбежку нестроганные.

Бетонирование обделок в скальных породах.

Скальные породы позволяют применения наиболее механизированного способа бетонирования, т.е. подачи и укладки бетонной смеси при помощи бетононасосов и бетоноукладчиков.

Схема подачи бетона от завода до тоннеля



Бетонирование обделок ведется на базе комплексной механизации, которые включают в себя: стальные шарнирно-складывающиеся и сборно-разборные опалубки, монтажные и бетоноукладочные установки и тележки, контейнеры и бетоновозки для перемещения смеси, буровые рамы, домкраты, лебедки и другие оборудования.

Процесс бетонирования необходимо вести с соблюдением требований технических условий и правил техники безопасности.

Набрызг - бетон.

Набрызг-бетон отличается от обычного бетона технологией укладки, повышенным содержанием цемента, более тщательным подбором гранулометрического состава и применением специальных добавок.

Набрызг-бетон наносится на породу (при помощи сжатого воздуха) в виде смеси цемента, заполнителей мелких и крупных фракций, воды, а также ускорителя схватывания и твердения. После быстрого набора прочности полученный таким способом набрызг-бетон становится средством крепления горных выработок. Процесс образования набрызг-бетона состоит из следующих этапов: к поверхности пород прилипают только более легкие цементные частицы, смоченные водой, затем образуется постепенно возрастающая по толщине пленка, к которой приклеиваются частицы песка и заполнителя более крупных фракций; во время нанесения сухой смеси происходит послойное равномерное уплотнение материала под действием вылетающей из сопла струи. Это способствует активизации цемента, повышению сцепления, увеличению плотности, прочности и водонепроницаемости.

Применение набрызг-бетона при строительстве подземных сооружений позволяет: быстрого и механизированного закрепления горных выработок, обеспечивающий безопасность работ; усиления крепей в зонах повышенного давления; прекращения осадочных деформаций массива; уплотнения трещиноватых пород; создания водонепроницаемых покрытий и уменьшения размеров поперечного сечения выработки.

Толщину покрытия набрызг-бетона можно определить по формуле:

$$h = 1.3ka \sqrt{\frac{q}{R_p}}$$

где 1,3 - коэффициент для учета увеличения горного давления а - шаг крепи, равный для набрызг-бетона 1 м
к - коэффициент, определяемый в зависимости от типа и шага крепи

q - горное давление т/м²

R_p - расчетное сопротивление набрызг-бетона растяжению.

Нагнетание растворов за обделку.

Основное назначение нагнетания - заполнение пустот за обделкой с целью:

-уменьшения деформаций обделки и предупреждения осадок подземных и надземных сооружений, создания равномерного горного давления, возникновения пассивного отпора со стороны породы, улучшения статической работы обделки и повышения её водонепроницаемости.

Нагнетание подразделяется на первичное и контрольное.

Гидроизоляция обделок тоннелей.

Методы предотвращения обводнённости тоннелей могут быть разделены на четыре группы и классифицировано следующим образом.

Контрольные вопросы:

1. В чём заключается особенность параллельной системы организации работ при сооружении монолитной тоннельной обделки?
2. В чём заключается особенность последовательной системы работ при сооружении монолитной тоннельной обделки?
3. Как возводятся монолитные тоннельные обделки в мягких породах?
4. Как возводятся монолитные тоннельные обделки в скальных породах?
5. В чём заключается особенность и технология возведения набрызг-бетона?
6. Какое назначение нагнетания растворов за обделку?
7. Какие существуют методы предупреждения

ЛЕКЦИЯ 8: СУЩНОСТЬ ЩИТОВОГО СПОСОБА РАБОТ. КЛАССИФИКАЦИЯ ЩИТОВ

ПЛАН:

1. Щит. Основные части щита. Требования, предъявляемые к конструкциям щита.
2. Классификация щитов.
3. Классификация механизированных щитов.
4. Подготовительные работы при щитовом способе сооружения тоннелей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА И ВЫРАЖЕНИЯ:

щит; механизированные щиты: ножевое кольцо; опорное кольцо; хвостовая часть; щитовые домкраты.

В комплексе строительно-монтажных работ при сооружении тоннелей особое значение имеют механизация и индустриализация подземных работ. Основная и весьма сложная задача заключается в активизации головного агрегата - щита при проходке в крепких, пластичных, сыпучих, плавунных и смешанных породах путем оснащения его механизированным оборудованием.

Щит-агрегат, снабженный системой механизированных устройств для разработки и крепления забоя, уборки породы, сооружения обделки и для поступательного перемещения всего агрегата, служащего надежной крепью для всех основных работ, выполняемых под его защитой. Основные части щита: ножевое кольцо, опорное кольцо, хвостовая часть, перегородки, щитовые домкраты.

Конструкция щита должна быть прочным и жестким, обеспечивающим неизменяемость геометрической формы сечения обделки, а в целом самоходным и легко управляемым. Конструкции щитов должны позволять:

- размещения и крепления в них проходческих машин (при проходке в породах, поддающихся механической разработке);
 - ведения взрывных работ в забое
- Щиты классифицируются:
- по способу разработки и уборки грунтов - немеханизированные, механизированные и частично механизированные;
 - по форме поперечного сечения - круговой, прямоугольной, трапециидальной, сводчатой (арочной), овальной, сложного очертания;
 - по размеру - малые до 3,5 м, средние от 3,5 до 6,5 м и большие свыше 6,5 м.

Для различных щитов применяются различные способы разработки и уборки грунта, возведения обделки. Однако, можно отметить следующий общий порядок работы щитовым способом:

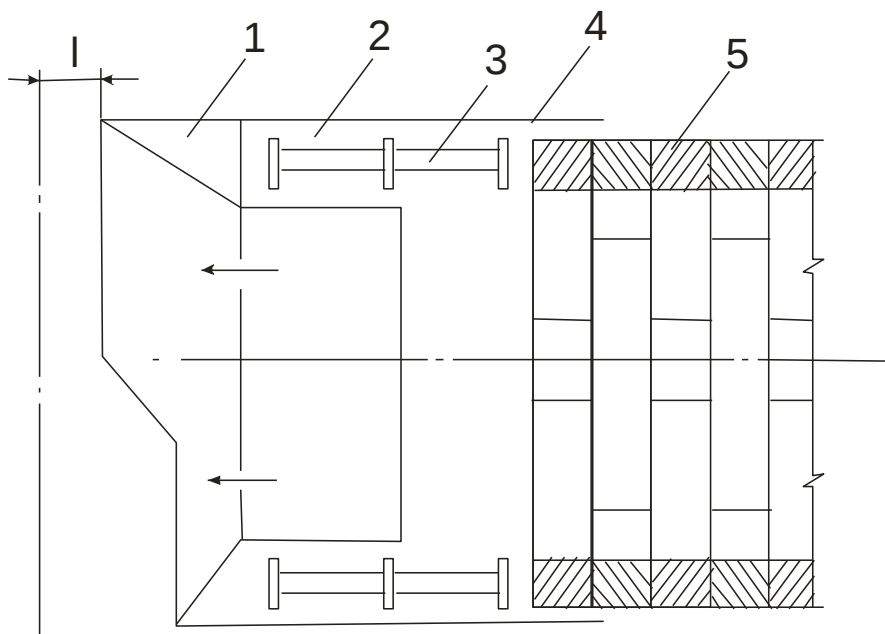


Схема возведения тоннеля щитовым способом.

- исходя из размеров обделки разработка забоя на глубине заходки и уборка породы под защитой ножевого кольца 1;
- введение в действие гидравлических домкратов 3, располагаемых по окружности опорного кольца 2;
- сдвигка щита, вперёд опираясь на готовую обделку 5;
- затем, возвратив штоки домкратов назад, под защитой оболочки щита 4 возведение обделок из сборных элементов или монолитно – прессованного бетона одновременно разработка грунта на следующую глубину заходки.

Механизированные щиты могут быть классифицированы следующим образом:

- по области применения: для неустойчивых пород, для слабоустойчивых пород, для устойчивых пород, для крепких пород, для мягких пород, для пород средней крепости

- по способу разрушения: строгание (ножи), резание (срезы), фрезирование (фрезы), бурение (шарошки), скалывание (диски)

- по типу рабочего органа: роторный, качающийся, планетарный.

Для проходки тоннелей в некрепких породах применяются щиты, работающие по принципу вращательного режима, т.е. планетарного действия, а при проходке в мягких породах применяют щиты роторного типа.

Щиты планетарного действия успешно применялись при строительстве Московского и Ленинградского метрополитенов.

Кроме этого, используются, щиты с режущим аппаратом шаровой формы. Для проходки тоннелей в водонасыщенных песках-плывунах разработано несколько разновидностей герметизированных щитов. При сооружении подводных тоннелей в илистых породах способом вдавливания применяются щиты с диафрагмами, рассчитанными на пассивный отпор породы и др.

Перед началом проходки производятся подготовительные работы, в состав которых, как правило, входят сооружение подходных выработок и щитовой камеры с последующей сборкой в ней щита в подземных условиях. Однако, кроме обычного способа сборки щитов непосредственно на месте (в камере), они могут быть опущены на проектную отметку с поверхности земли в собранном виде.

Способы проходки щитом зависят от геологических и гидрогеологических условий трассы, следовательно, организация работ в забое и последовательность выполнения процессов для пород различных групп различно.

Щитовые проходки в крепких породах.

Щитовая проходка в мягких породах.

Щитовая проходка в смешанных породах.

Контрольные вопросы:

1. Что такое щит?
2. Из каких основных частей состоит щит?
3. Какие требования предъявляются к конструкциям щита?
4. По каким признакам классифицируются щиты?
5. По каким признакам классифицируются механизированные щиты?
6. Какие подготовительные работы производятся перед началом проходки щитовым способом?

ЛЕКЦИЯ 9: ОСНОВЫ РАСЧЕТА ЩИТОВ

ПЛАН:

1. Определение наружного диаметра и длины щита.
2. Определение сопротивления, преодолеваемое домкратами при перемещении щита.
3. Расчет диаметра щита.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА И ВЫРАЖЕНИЯ:

оболочка щита; диаметр щита; длина щита; ширина ножевого кольца; ширина опорного кольца; длина хвостовой части оболочки щита; сила трения; щитовые домкраты; диаметр поршня домкрата.

При проектировании конструкции щита, необходимо исходит из того, что внутренний диаметр оболочки щита должен превышать наружный диаметр тоннельной обделки на величину строительного зазора, равным $\frac{1}{125}$ диаметра обделки. Наружный диаметр оболочки щита $D_{щ}$ определяют по формуле

$$D_{щ} = 1.008d + 2\delta$$

где: d - наружный диаметр обделки

δ - толщина оболочки щита

В устойчивых породах оболочку помещают только в верхней части щита, тогда

$$D_{щ} = 1.008d + \delta$$

Полную длину щита $L_{щ}$ определяем как сумму длин его основных элементов

$$L_{щ} = L_H + L_{оп.к} + L_{об}$$

где: L_H - ширина ножевого кольца

$L_{оп.к}$ - ширина опорного кольца

$L_{об}$ - длина хвостовой части оболочки.

Ширина ножевого кольца принимается в зависимости от характера проходимых пород, но не меньше 1-1, 2м по условиям удобства и безопасности работы проходчиков. Маневренная способность щита может быть проверена отношением полной длины щита к его диаметру, т.е в среднем должен быть:

$$L_{щ} : D_{щ} = 0.75$$

Полное сопротивление, преодолеваемое домкратами при перемещении щита

$$\sum W = W_1 + W_2 + W_3$$

где W_1 - сила трения между щитом и породой

W_2 - сопротивление породы в забое

W_3 - сила трения между оболочкой щита и обделкой тоннеля.

Общее выражение для определения W_1 имеет вид:

$$W_1 = [2(p_1 + q_1)L_{щ}D_{щ} + P_2]\mu_1$$

где: p_1 и q_1 - соответственно вертикальное и горизонтальное давление горных пород, определяемое по гипотезе давления столба породы высотой не свыше 50 м.

P_2 - собственный вес щита

μ_1 - коэффициент трения стали о породу ($\mu_1 = 0,2 \div 0,6$)

Значение сопротивления W_2 зависит от качества проходимых пород и от способа ведения работ в забое: а) при проходке в породах, требующих применения забойных домкратов

$$W_2 = q_a F$$

где: q_a - горизонтальное активное давление породы, определяемое в предположении водообразования

F - площадь забоя

б) при проходке в породах способом частичного врезания по контуру ножевого кольца

$$W_2 = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) q_n$$

D_1^2 - наружный диаметр ножевого кольца

D_2^2 - внутренний диаметр врезаемой части щита

q_n - горизонтальное пассивное давление породы.

в) при проходке в разжиженных породах способом вдавливания

$$W_2 = q_n F$$

Сила трения между оболочкой щита и обделкой весьма незначительна и определяется по формуле:

$$W_3 = p_3 \cdot \mu_2$$

p_3 - собственный вес тоннельной обделки, находящейся внутри оболочки щита

μ_2 - коэффициент трения стали по чугуну

Расчетную силу щитовых домкратов надо принимать с некоторым запасом, т.е.

$$\Sigma p = k \Sigma W$$

Отсюда сила одного домкрата определяется по формуле:

$$p = \frac{k \Sigma W}{n}$$

где: n - число домкратов, равное удвоенному числу блоков

k - коэффициент запаса ($k = 1,25; 1,5$)

Диаметр поршня домкрата определяется по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 p_1}{\pi q}}$$

где: $p_1 = p + \Delta p$; $\Delta p = P d q \mu \cdot 1$ при $\mu = 0,08$

здесь: q - интенсивность давления рабочей жидкости – кг/см²

Δp - потеря на трение в сальниковом уплотнении Наружный радиус цилиндра определяются по формуле:

$$r_a = r \sqrt{\frac{k_z + 0.4 p_i}{k_z - 1.3 p_i}}$$

где: k_z - допускаемое сопротивление на разрыв; для чугуна-250, стали-600, для легированной стали- 1 200кг/см²

$P_1 = P + 50$ - испытательное давление

Толщина стенки цилиндра равен $s = r_a - r$

Контрольные вопросы:

1. Как определяется наружный диаметр щита?
2. Как определяется полная длина щита?
3. Как определяется полное сопротивление, преодолеваемое домкратами при перемещении щита?
4. Как определяется сила трения между щитом и породой?

5. Как определяется сопротивление породы в забое при щитовом способе работ?
6. Как определяется сила трения между оболочкой щита и обделкой тоннеля?
7. Как определяется расчетная сила щитовых домкратов?

ЛЕКЦИЯ 10. ВВЕДЕНИЕ ЩИТА И СООРУЖЕНИИ ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК ПРИ ЩИТОВОМ СПОСОБЕ РАБОТ.

ПЛАН:

1. Сущность введения щита. Требования, которые необходимо выполнять при введении щита.
2. Сооружение щитовым способом обделок из чугунных или железобетонных тюбингов.
3. Сооружение щитовым способом обделок из железобетонных блоков.
4. Сооружения щитовым способом тоннельных обделок из монолитно-прессованного бетона.
5. Нагнетание гравия и раствора в заобделочное пространство.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА И ВЫРАЖЕНИЯ:

введение щита; положение щита; отклонения щита; щитовые карточки; щитовые графики.

Введение щита означает комплекс мероприятий, обеспечивающих точное соблюдение проектного направления трассы тоннеля. При этом необходимо выполнить следующие требования:

- 1) соблюдать производительные основные приемы перемещения щита;
- 2) применять наиболее совершенные методы проверки положения щита;
- 3) осуществлять наиболее рациональные приемы исправления отклонений щита.

Все эти вопросы обычно решают совместно строители тоннеля и геодезисты - маркшейдеры. Способы введения щита зависят главным образом от свойств горных пород. Так, в крепких породах применяют бетонную направляющую подушку, в мягких породах работы осуществляются глухим забоем; в плывунах завышением ножевой части щита (прибл. 10-15 см); большие затруднения оказывают валуны; в разжиженных илистых породах - пропуская небольшой объем ила через щит внутрь тоннеля. Отклонения щита от проектного может оказаться вследствие неправильной сборки обделки (неравномерное подтягивание болтов, попадание между кольцами твердых частиц, неправильно уложенное клиновидное кольцо и др.)

Проверки положения щита и кольца обделки выполняется применением комплекса геодезических работ (с использованием щитового оптического прибора) с последующим оформлением наблюдений и вычислений на щитовых карточках и графиках введения щита. Перспективны способы автоматического введения щита (например, с использованием лазера).

При щитовом способе проходки сооружается 3 типа тоннельной обделки:

- 1) обделка из чугунных или железобетонных тюбингов
- 2) обделка из железобетонных блоков
- 3) обделка из монолитно-прессованного бетона

Монтаж тюбингов, как правило, ведется при помощи рычажных укладчиков и состоит из следующих операций:

- 1) подача элементов тоннельной обделки (тюбинги, скрепления в ящиках и другие) непосредственно к захватывающему приспособлению механического укладчика на специальных вагонетках платформенного типа;
- 2) очистка тюбинга и оболочку щита от всякого рода загрязнений;
- 3) монтаж нижнего тюбинга на оболочке щита по данным инженерно-геодезической (маркшейдерской) службы;

4) монтаж последующих блоков (последовательно и симметрично с обеих сторон) с постановкой и натяжением болтов, гидроизоляционных шайб, обращая особое внимание сохранению круговой формы тоннеля;

5) монтаж ключевого блока с перемещением рычага укладчика радиально; прокладка между оболочкой щита и обделкой прокладок или специальных стяжек для обеспечения кольца от искажения под влиянием собственного веса;

6) передвижение щита с контрольным подтягиванием болтов и монтаж следующего кольца.

Монтаж (сборка) обделок из блоков в зависимости от массы блоков и площади поперечного сечения тоннеля требует применения рычажных или дуговых укладчиков.

При массе блока до 3 т используют рычажные укладчики и монтаж ведется подобно монтажу тубингов. Однако при укладке блоков верхней половины их поддерживают двутавровыми балками, смонтированными на опорной конструкции укладчика.

При монтаже обделок из крупных железобетонных блоков применяют блокоукладчик дугового типа и монтаж ведется сверху вниз при помощи лебедок, электроталей и гидравлических домкратов.

Обделки из монолитно-прессованного бетона имеют следующие преимущества: бесшовность, плотность, водонепроницаемость, гладкость внутренней поверхности, повышенная прочность, возможность немедленного вступления в совместную работу с окружающей породой, сравнительно низкая стоимость и индустриальность возведения. Применяется три типа опалубки: переставная, жесткая скользящая и гибкая скользящая.

Нагнетание гравия и раствора в заобделочное пространство.

Основное назначение нагнетания - заполнение пустот за сборной обделкой с целью предотвращения деформаций от собственного веса, возникновения пассивного отпора со стороны породы, предупреждения развития большого горного давления, предупреждения осадок наземных сооружений, улучшение гидроизоляции обделки.

Нагнетание подразделяется на первичное, повторное и контрольное.

Для первичного нагнетания применяется гравий или цемента - песчаные растворы, а для повторного и контрольного нагнетания при заполнении пустот за обделкой гравием - цементное

Первичное нагнетания необходимо выполнять немедленно вслед за возведением сборной обделки, а повторное не должно отставать более чем на 5-8 колец.

Гидроизоляционные работы.

Вода в тоннель может попадать в случае сборных обделок через болтовые отверстия, швы и отверстия для нагнетания. Гидроизоляция чугунных тубингов, заключается в постановке стальных шайб сферической формы и гидроизоляционных шайб конической формы при их сболчивании с последующей замазкой (чеканкой) их водонепроницаемым цементным раствором или полимерным материалом.

Гидроизоляция железобетонных блоков заключается в нанесении при их монтаже на стыкуемые поверхности специальной мастики "гидроизомаст" с последующей зачеканкой швов цементной замазкой.

Контрольные вопросы:

1. Что означает введение щита?
2. Какие требования необходимо выполнять при введении щита?
3. Какие операции необходимо выполнять при монтаже чугунных или железобетонных тубингов щитовым способом?
4. Как производится монтаж железобетонных обделок из крупноразмерных блоков при щитовом способе работ?
5. Какие имеют преимущества обделки из монолитно-прессованного бетона?
6. Какое назначение имеет нагнетание растворов в заобделочное пространство?

ЛЕКЦИЯ 11: СООРУЖЕНИЕ ТОННЕЛЕЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

ПЛАН:

1. Котлованный способ сооружения тоннелей
2. Траншейный способ сооружения тоннелей.
3. Колодезный способ сооружения тоннелей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА И ВЫРАЖЕНИЯ: котлован; траншея; колодец.

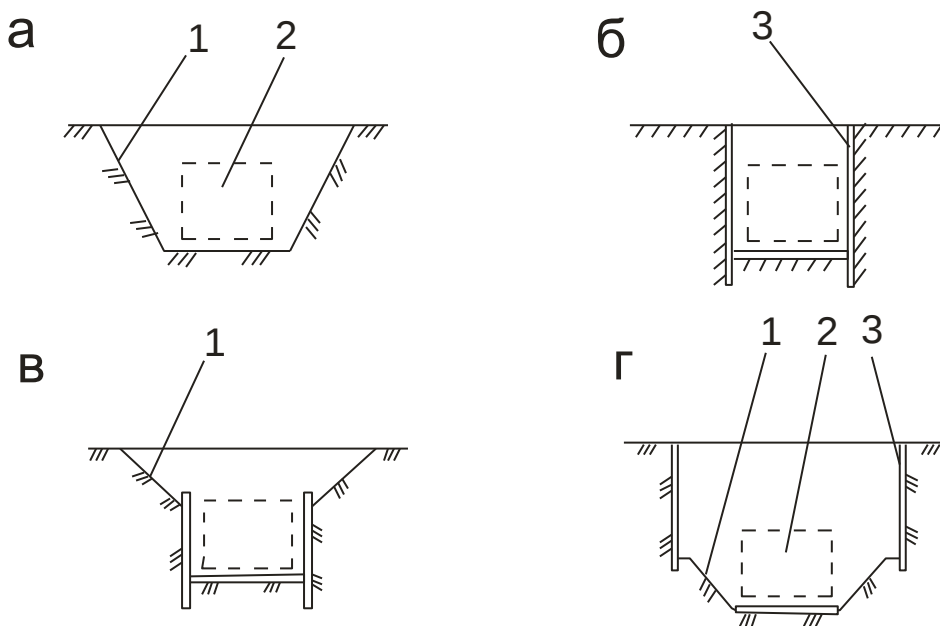
При сооружении тоннелей мелкого заложения открытым способом могут быть применены три способа работ – котлованный, траншейный (стена в грунте) и щитовой.

При котлованном способе возводимое сооружение опирается на дно предварительно разработанного котлована, после чего котлован засыпается.

Достоинство котлованного способа: высокие темпы возведения сооружений; небольшая их стоимость; возможность применения крупноразмерных и объёмных элементов; возможность использования внешней гидроизоляции конструкций, обеспечивающих полную водонепроницаемость тоннеля.

Недостатки котлованного способа: большая трудоёмкость работ по перекладке городских коммуникаций, расположенных в зоне производства работ; необходимость занятия большой территории под строительную площадку, усиления в ряде случаев зданий и сооружений и даже их сноса, если они попадают в опасную зону строительства.

В зависимости от инженерно – геологических условий и особенностей городской застройки стены котлована могут быть с естественными откосами, вертикальные с применением временной крепи и комбинированные.



Схемы котлованов с откосами (а) с вертикальными (б) и комбинированными (в, г) стенами:

1-откос; 2- контур тоннеля; 3- шпунт, сваи.

В качестве временной крепи вертикальных стен котлована используются:

- сваи из стальных двутавровых балок № 30 – 60;
- сваи из металлических труб $\varnothing$ 200 -400 мм;
- железобетонные или бетонные буронабивные сваи;
- шпунтовое крепление.

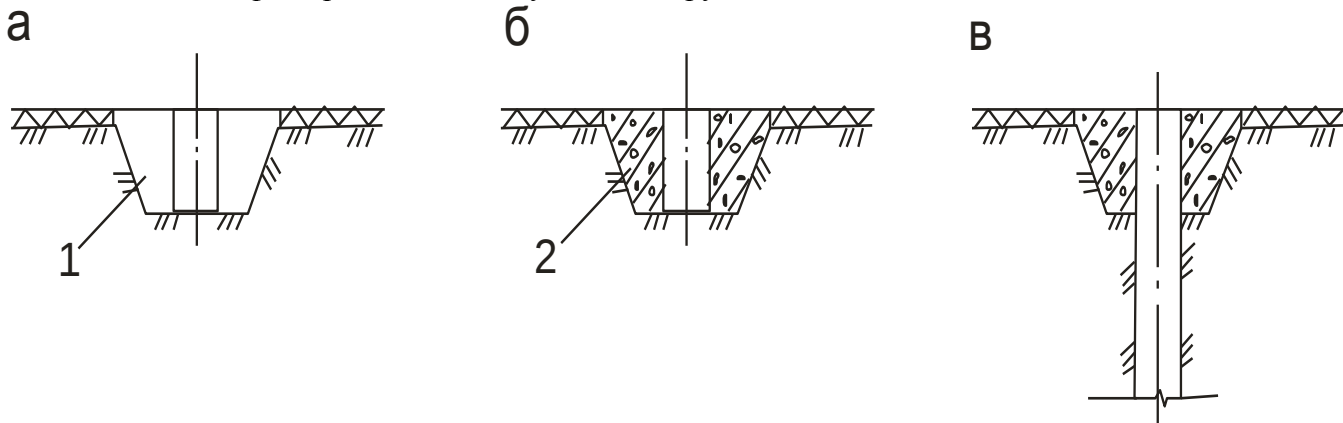
Для обеспечения устойчивости свай устанавливают систему расстрелов и подкосов, в зависимости от глубины котлована и интенсивности бокового горного давления в один или два ряда.

Из-за большой металлоемкости этих расстрелов и подкосов (швеллера № 30 – 40, металлические трубы диаметром от 0,2 до 0,6 м), в последнее время применяют анкерные и начелные крепи.

Сущность способа “стена в грунте” состоит в следующем:

- по периметру сооружаемого подземного сооружения (тоннеля) открывается траншея шириной 0,4-1,0 м до глубины заложения сооружения;
- для предотвращения вывалов стен, траншея заполняется глинистыми растворами (суспензиями) с определёнными тимоотронными свойствами;
- затем глинисты растор заменяется стено из монолитного бетона или железобетона и под его защитой разрабатывается котлован и возводятся конструкции подземного сооружения (тоннеля). В последнее время разработаны решения использования этих стен как наружную стенку тоннеля.

Основные фазы работ по методу “стена в грунте”



- а) разработка меонерской траншеи (1) экскаватором;
- б) сооружение форшахты;
- в) разработка грунта сооружаемой части траншеи при помощи грейдера и погрузка на автосамосвал;
- г) установка арматурных каркасов;
- д) бетонирование сооружаемой части (захватки) траншеи и переброска глинистого раствора на следующую захватку.

Контрольные вопросы:

1. В чём сущность котлованного способа сооружения тоннелей?
2. В чем сущность траншейного способа сооружения тоннелей?
3. В чем сущность колодезного способа сооружения тоннелей?

ЛЕКЦИЯ 12: ОРГАНИЗАЦИЯ ТОННЕЛЬНЫХ РАБОТ.

ПЛАН:

1. Содержание проектного задания и рабочих чертежей.
2. Содержание проектов, организация строительства и производства работ.
3. Подготовительные работы.
4. Генплан строительства, график производства работ по сооружению тоннелей.
5. Цикл и циклограмма.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА И ВЫРАЖЕНИЯ:

проектное задание (технический проект); рабочие чертежи; проект организации строительства; проект производства работ; подготовительные работы; генплан строительства; график производства работ
цикл; время цикла; циклограмма.

Проектирование тоннелей выполняется в две стадии:

1. Проектное задание или технический проект, в состав которого входят: обоснование выбора трассы тоннелей в плане и. профиле, мест расположения порталов, размеров поперечных сечений, материалов и конструкции обделок и способов производства работ; решение вопросов о строительных площадках, подсобных предприятиях, жилых и культурно-бытовых зданий, об источниках снабжения водой, электроэнергией, цементом, заполнителями, о транспортных связях, а также установление сроков и предварительной стоимости строительства. Всё это делается на базе детального обследования района и технико-экономического сравнений вариантов, т.е. ТЭО.

2. Рабочие чертежи, разрабатываемые на основе проектного задания, в состав которого входят: общие чертежи (планы и разрезы), детальные чертежи, ведомости необходимых строительных материалов, конструкции и изделий, строительных механизмов и оборудования.

Строительство тоннелей осуществляется в соответствии с утверждённым проектом организации строительства (ПОС), проектом производства работ (ПЕР), действующими техническими условиями и правилами безопасности, как правило, поточным методом, обеспечивающими последовательное сооружение отдельных частей тоннеля и непрерывное выполнение работ.

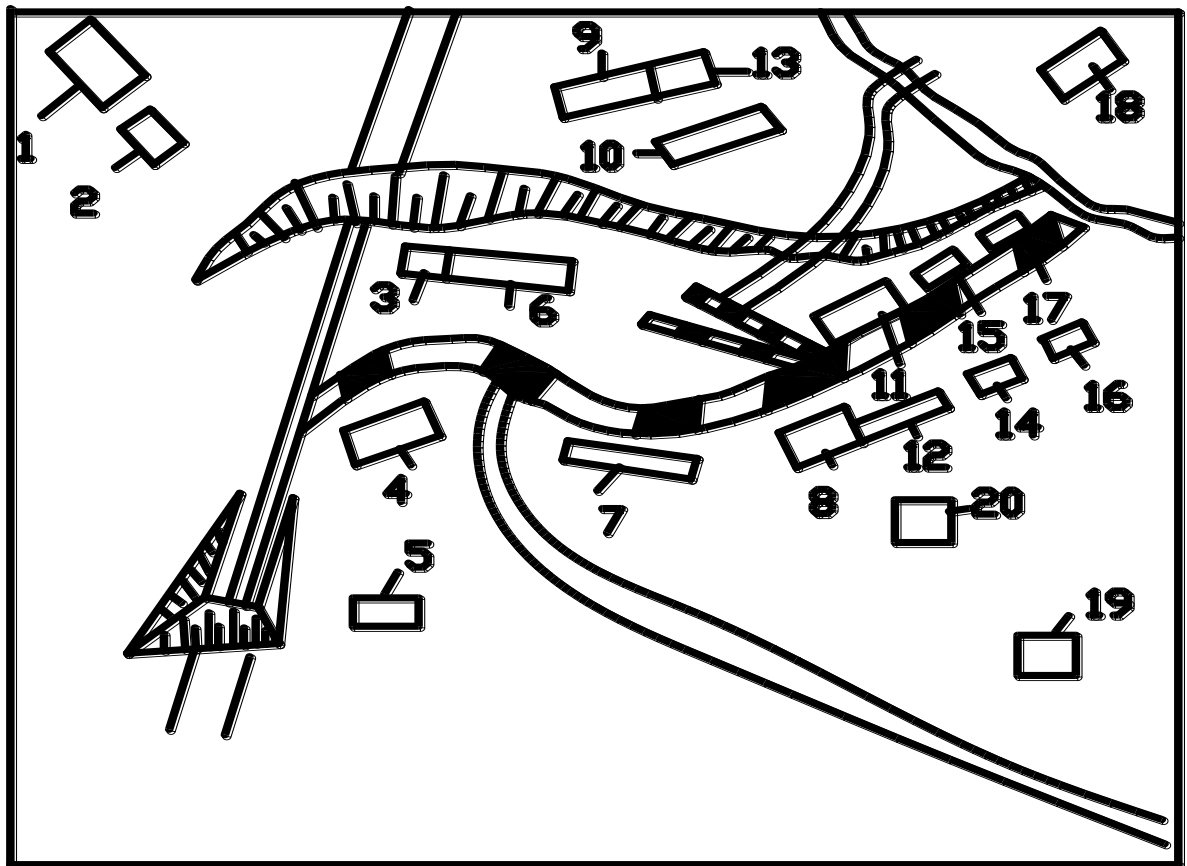
ПОС разрабатывается проектной организацией и содержит: генплан строительства; топографический план района строительства с нанесением объектов, необходимых для его развертывания; привязанные к местности схемы строительных площадок и схемы механизации поверхностных и подземных работ и пояснительную записку.

ПНР разрабатывается проектной организацией* или строительной организацией на основе решений, принятых ПОС. ПНР содержит: технологические схемы производства тоннельных работ, календарный план их выполнения, графики обеспечения строительства материалами, конструкциями, оборудованием, рабочей силой, энергией и транспортными средствами, график работы основных строительных машин и механизмов, пояснительную записку.

К началу основных работ по сооружению тоннелей должны предшествовать подготовленные работы, в состав которых входят: устройство подъездных дорог и подача электроэнергии к месту строительства; создание баз, обеспечивающих строительство материалами (карьеры, лесозаготовки и пр.), оборудование строительных площадок с местами отвалов породы и постройка жилых поселков для строителей. Как для всего

строительства, так и для каждой строительной площадки составляются генпланы строительства, в которых должны быть показаны расположение тоннельных сооружений, стволов шахт и строительных площадок, жилых зданий, мастерских, внешних сетей и устройств энергоснабжения, подъездных путей, мест для отвала породы и пр.

Рассмотрим пример плана строительной площадки, расположенной у портала автодорожного тоннеля:



Здесь:

1. Компрессорная
2. Градирня
3. Бетонная установка
4. Строительный двор с арматурным цехом
5. Вентилятор
6. Склад заполнителей
7. Электровозное депо
8. Механическая мастерская
9. Душевой комбинат с медпунктом
10. Контора строительства
11. Центральный склад
12. Бурозаправочная и электросварочная
13. Котельная
14. Склад оборудования
15. Материальный склад
16. Помещение пожарной охраны
- 17..Лесопильный цех
18. Резервный вклад

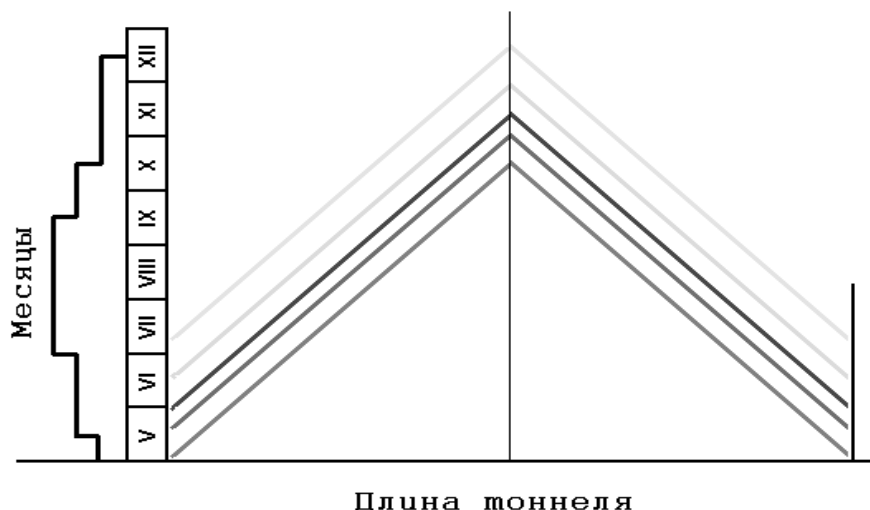
19. Расходный склад ВВ

20. Пост охраны

Объекты административного хозяйства и производственного назначения некоторых объектов и строения (вентиляция и др.)

Важным организационно-техническим документом, позволяющим конкретно, оперативно руководить работами и контролировать их является график организации работ.

Рассмотрим пример календарного графика производства работ по сооружению тоннеля.



На графике:

1. Проходка тоннеля
2. Бетонирование обделки
3. Раскруживание свода
4. Нагнетание за обделку
5. Контрольное нагнетание

Основой правильной организации работ является, цикличность выполнения строительных процессов, их комплексная механизация, а также индустриализация строительства, при которой значительная часть применяемых конструкций (крепи, элементы обделок) изготавливается на поверхности и лишь монтируется под землей.

Циклом называется ряд периодически повторяющихся рабочих процессов, выполнение которых обеспечивает продвижение забоя выработки на глубину заходки. Время, нужное для этого называется временем цикла. ПОР необходимо составить таким образом, чтобы за сутки выполнялись целое число циклов (если возможно, то за смену).

Рассмотрим несколько примеров циклограмм.

Циклограмма на проходку тоннеля механизированным щитом.

Продолжительность цикла при проходке тоннеля буровзрывным способом может быть определена по формуле:

$$T = t_{\delta} + t_z + t_{\epsilon} + t_n$$

где: t_{δ} -приведение забоев в безопасное состояние (оборка, временное крепление и т.д.) и его обустройство.

t_z - зарядка шпуров и взрывание .

t_{ϵ} - вентиляция забоя после взрыва.

t_n - погрузка породы.

Стоимость проходки 1 м тоннеля может быть определена по формуле

$$C = \frac{bT}{tW} + m$$

здесь: b - сумма всех условно-постоянных материальных денежных затрат всего или части тоннеля.

m - сумма всех пропорциональных материальных и денежных затрат на 1 м тоннеля.

W - длина заходки за один цикл, м

t - продолжительность проходки всего или части тоннеля.

Из этой формулы видно, что с уменьшением T при прочих равных условиях стоимость проходки единицы тоннеля уменьшается.

Контрольные вопросы:

1. Какие вопросы освещаются в составе проектного задания (технического проекта)?
2. Какие вопросы освещаются в составе рабочих чертежей?
3. Какие документы входят в содержание проекта организации строительства?
4. Какие документы входят в содержание проекта производства работ?
5. Какие объекты должны быть помечены в генплане строительства?
6. Что такое график организации работ по сооружению тоннеля?
7. Что такое цикл?
8. Как определяется продолжительность цикла при проходке тоннеля буровзрывным способом?

ЛЕКЦИЯ 13: ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ВЕНТИЛЯЦИИ ТОННЕЛЕЙ.

ПЛАН:

1. Цели и задачи вентиляции тоннелей.
2. Определение требуемого объема вентиляции по окиси углерода.
3. Определение требуемого объема вентиляции по тепловыделениям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА И ВЫРАЖЕНИЯ:

вредные газы; потребных объем вентиляции; допустимая концентрация.

В процессе эксплуатации железнодорожных и автодорожных тоннелей образуется значительное количество вредных газов:

- углекислый газ – CO_2 , окись углерода – CO , метан- CH_4 и др., являющиеся продуктами сгорания топлива в двигателях. Для атмосферы тоннеля характерна избыточная влажность и повышенная температура. Работавшие механизмы и установки, освещение и находящиеся в тоннеле люди так же выделяют тепло. В некоторых случаях в тоннелях могут выделяться подземные газы.

Целью вентиляции являются:

- максимальное приближение состава тоннельного воздуха к нормальному, обеспечение пассажиров и поездного персонала чистым воздухом;
- сведение к минимуму воздействия вредных газов и повышенной температуры на здоровье путевых и ремонтных рабочих;
- устранение задымления, влияющее на видимость в тоннеле.

Самым опасным газом является окись углерода – CO . Уменьшением его состава в воздухе, одновременно происходит значительное уменьшение задымления тоннеле, что улучшает видимость при движении. Объем вентиляции должен быть достаточным и для обеспечения благоприятного температурного режима в тоннеле. Таким образом, при проектировании вентиляции необходимо определять объем требуемого расхода воздуха, исходя из концентрации CO в тоннеле и по тепловыделениям.

Потребный объем вентиляции по CO (окись углерода).

Требуемый объем вентиляции в $\text{м}^3/\text{сек}$ на 1 км тоннеля можно представить в виде простой зависимости.

$$Q = \frac{B}{D}$$

где B - количество выделяемого газа г/см

D - допускаемая концентрация $\text{м}^2/\text{л}$ или г/м^3 .

Величина допустимой концентрации зависит от высоты расположения тоннеля над уровнем моря и определяется по формуле:

$$D_H = D - 0.01H$$

D - допустимая концентрация CO при нормальных условиях.

H - высота над уровнем моря, км.

Количество CO , выделяемого автомобилями в тоннеле зависит от интенсивности и скорости движения, от количества топлива, расходуемого автомобилем и содержания окиси углерода в выхлопных газах.

Содержание CO в выхлопных газах зависит от полноты сгорания, т.е. от состава рабочей смеси, характеризующейся коэффициентом избытка воздуха – α

$\alpha = 0.95 \div 0.85$ - при обычном режиме работы двигателя.

$\alpha = 0.8$ - при работе двигателя на холостом ходу.

Весовое количество CO (в кг) в выхлопных газах определяется по формуле:

$$P = 0.14q \left(\frac{c}{3} + h \right) (1 - \alpha)$$

где: q -расход топлива, кг;

d - процент (по весу) содержания в топливе углерода;

h - то же, водорода.

Для средних данных топлива имеем

$$P = 6.06q(1 - \alpha)$$

На результат газовой реакции оказывает влияние высота расположения тоннеля над уровнем моря, т.е.:

$$\frac{\alpha_H^2}{\alpha_0^2} = \frac{\gamma_H}{\gamma_0}$$

здесь: α_H - коэффициент избытка воздуха на высоте H над уровнем моря.

α_0 - то же, на уровне моря

γ_H - объемный вес воздуха на высоте H над уровнем моря кг/м³

γ_0 - то же, на уровне моря кг/м³

Существует приближенная зависимость:

$$\sqrt{\frac{\gamma_H}{\gamma_0}} = 1 - 0.045H$$

Имея ввиду это выражение, для любого расположения тоннеля:

$$P_i = 6.06q[1 - \alpha(1 - 0.045H)]$$

Секундный расход топлива для каждого расчетного типа автомобиля определяется по формуле

$$q_c = q \frac{V_k}{3600}$$

где: q - количество топлива, расходуемого автомобилем, г/км

V_k - скорость движения км/ час.

С увеличением высоты тоннеля над уровнем моря:

$$q_H = q(1 + 0.22H)$$

Тогда, количество вредного газа, выделяемая автомобилем данного типа, в секунду составляет:

$$b_i \cong 6.06q_0[1 + 0.022H - \alpha(1 - 0.023H)]$$

Зная число автомобилей $\frac{N}{V_k}$, одновременно находящихся на участке длиной 1 км, находим выражение для количества СО г/с, выделяемого на этом участке

$$B = \frac{N}{V_k} (A_1 \sum m_i b_i^n + A_2 \sum m_i b_i^c)$$

где: N- расчетное часовое движение в тоннеле, автомобилей в час.

A_1 - доля в нем автомобилей, следующих на подъем.

A_2 - то же, следующих спуск.

m_i - доля в общем потоке автомобилей данного типа.

b_i^c - количество СО, выделяемое автомобилем при движении на спуск.

b_i^n - то же, при движении на подъем.

При движении всех автомобилей в одном направлении:

$$B = \frac{N}{V_k} \sum m_i b_i$$

Введя обозначение, получим

$$B = \frac{N}{V_k} \rho$$

Потребный объем вентиляции по тепловыделениям.

Основной источник тепловыделения - работающие двигатели автомобилей. При весе автомобиля G тепловой эквивалент внешней полезной работы двигателя в час составляет

$$\frac{10000GVJ}{427}$$

По этому, приближенно тепловыделения W_a (кал/с) автомобиля в тоннелях можно представить

$$W_a = \frac{1}{3600} \eta_u h_u q - \frac{10GVJ}{3.6 \cdot 427}$$

где: h_u - высшая теплотворная способность топлива кал/кг

q- расход топлива кг/час

η_u - тепловой к. п. д. сжигания топлива

G-вес автомобиля, т

J- уклон дороги, ‰

V- скорость движения, км/час

427 - тепловой эквивалент 1 кг м работы

W_a следует определять с учетом высоты расположения тоннеля над уровнем моря. Тепловыделения от освещения, от работающих установок и других факторов может быть найдены в предположении, что вся энергия переходит в тепло:

$$W_N = \frac{860}{3600} N$$

здесь: 860- тепловой эквивалент 1 квт

N_1 - потребляемая мощность, квт

Тепловыделение людей в тоннеле принимается из расчета 100 кал час на каждого.

На тепловой баланс существенно влияют теплообмен между воздухом тоннеля и окружающей породы. Теплообмен можно выразить формулой

$$W_r = \pm K(t_{вз} - t_{зр}) \quad \text{кал/м}^2\text{час}$$

K - коэффициент теплоотдачи внешних ограждений кал/м²час

$t_{вз}$ - средняя температура воздуха в тоннеле, град

$t_{зр}$ - средняя температура породы, окружающей тоннель, град

Температура грунта может быть определена по формулам или получены в натуре.

Значение K можно определить по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i}}$$

здесь: $\frac{1}{\alpha_1}$ - коэффициент сопротивления тепловосприятию

$$\frac{1}{\alpha_2}$$

- то же, теплопередача

d_i - толщина элемента конструкции

λ_i - коэффициент теплопроводности

$$\frac{d_i}{\lambda_i}$$

- коэффициент сопротивления теплопереходу.

Суммарные тепловыделения и теплопотери в тоннеле W_T (кал/с) можно определить по формуле:

$$W_T = (1.1 \div 1.2) \frac{N}{V_k} (A_1 \sum m_i W_i^n + A_2 \sum m_i W_i^c) \pm \frac{S}{3.6} k(t_{вз} - t_{зр})$$

где: W_i^n - тепловыделения двигателей автомобилей при движении на подъем

W_i^c -то же, при движении на спуск

S - периметр очертания поперечного сечения тоннеля, м.

Потребный объем вентиляции Q (в м³/см) на 1 км тоннеля или участка с однообразным профилем может быть определен по формуле:

$$Q = \frac{W}{\gamma C_p (t_{yx} - t_{bx})}$$

C – объемный вес воздуха при расчетных условиях (для нормальных условий равен 1.226 кг/м³)

C_p - удельная теплоемкость 1 м³ воздуха, равная 0,24 кал/кг на 1 град

$$t_{yx}$$

- наружная температура воздуха

$$t_{bx}$$

- температура воздуха в тоннеле.

Перепад температур $t_{yx} - t_{bx}$ допускается обычно с 10-15 °С, но должен назначаться с учетом влажности в тоннеле. Расчет следует производить для нескольких температурных режимов.

Контрольные вопросы:

1. Какие цели предусматривает вентиляция тоннелей?
2. Как определяется объем вентиляции по окиси углерода - CO?
3. Как определяется объем вентиляции по тепловыделениям?

ЛЕКЦИЯ 14: ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ВЕНТИЛЯЦИИ ТОННЕЛЕЙ

ПЛАН:

1. Естественное проветривание тоннелей
2. Искусственное проветривание тоннелей
3. Вентиляционные установки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА И ВЫРАЖЕНИЯ:

естественная вентиляция; искусственная вентиляция; барометрический напор; ветровой напор; тепловой напор; приточная вентиляция; вытяжная вентиляция; продольная вентиляция; поперечная вентиляция; центробежный вентилятор; осевой вентилятор; потери напора.

Вентиляция тоннелей обеспечивается в результате естественного искусственного проветривания.

Естественное проветривание тоннелей.

Факторами, способствующим возникновению в тоннеле естественной тяги воздуха, являются: различие барометрических давлений у порталов тоннеля (барометрический напор), устойчивые ветровые потоки вдоль продольной оси тоннеля (ветровые напор) и расположение порталов на разных уровнях при наличии разности температур наружного и внутреннего воздуха (тепловой напор).

Барометрический напор возникает в случае длинных перевальных тоннелей, пересекающих достаточно высокие хребты.

Величина барометрического напора h_b (мм вод. ст.) определяется по формуле:

$$h_b = 13.6 \Delta H$$

где: ΔH - разность барометрического давления у порталов, мм рт.ст.

Ветровой напор h_w (мм вод. ст.) определяется по формуле:

$$h_w = \rho_t \frac{\omega^2 \cos^2 \beta}{2}$$

Здесь ρ_t - плотность воздуха при температуре t °C кг. с²/м⁴

ω - скорость ветра м/с

β - угол действия ветра по отношению к оси тоннеля.

Тепловой напор h_t (мм вод.ст) развивается в зависимости от разности H и отметок порталов H_n , т.е. в зависимости от разницы в весе воздушного столба тоннельного и наружного воздуха

$$h_t = H_n \gamma_n \frac{t_T - t_H}{273 + t_T}$$

Здесь: γ_n - объемный вес наружного воздуха для данных условий

t_T - температура воздуха в тоннеле, град.

t_H - температура наружного воздуха, град.

Суммарный статический напор в тоннеле может быть выражен

$$h_s = h_b \pm h_w \pm h_t$$

Скорость движения V_B (в м/сек) потоков в тоннеле, возникающих в результате суммарного воздействия определяется по формуле:

$$V_B = \sqrt{\frac{2g}{\gamma_0} h_s (1 + \alpha t_T)} = 3.9 \sqrt{\frac{h_s (1 + \alpha t_T)}{\xi_T}}$$

$$\alpha = \frac{1}{273} \text{ коэффициент объёмного расширения газа}$$

ξ_T - коэффициент сопротивления тоннеля как воздухопровода

$$\xi_T = 1.5 + 0.007 \frac{z}{R} + \sum \xi_\beta$$

где: z - длина тоннеля

R - гидравлический радиус сечения тоннеля

ξ_β - сопротивление от поворота

Естественное проветривание допускается в железно-дорожных тоннелях длиной до 300 и при тепловой тяге, и до 1000 и при электрической тяге, а в автодорожных тоннелях до 150 м.

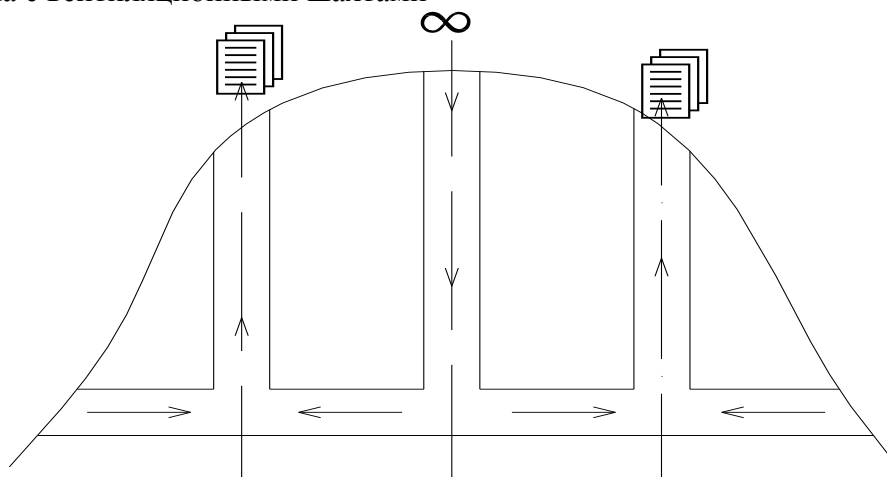
Искусственная вентиляция тоннелей.

Искусственная вентиляция тоннелей может быть осуществлена различными способами:

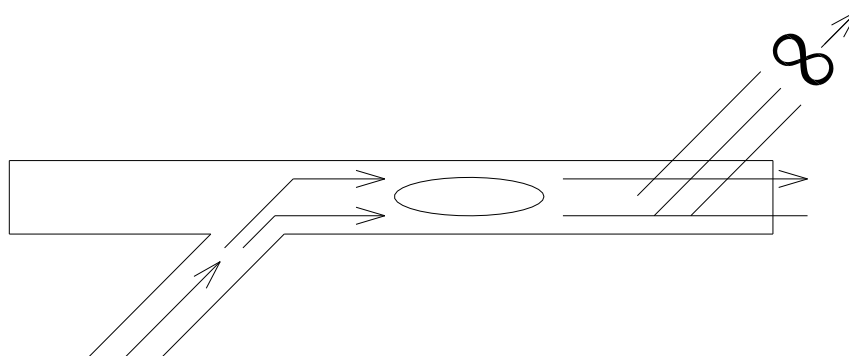
- 1) при помощи вентиляторов нагнетанием в тоннель свежего воздуха - приточная вентиляция.
 - 2) отсасыванием из тоннеля насыщенного вредными газами воздуха - вытяжная вентиляция.
 - 3) одновременным нагнетанием и отсасыванием – приточно-вытяжная вентиляция.
- Зависимости от направления движения подаваемого в тоннель воздуха различают продольную, поперечную и полупродольно -полупоперечную комбинированную системы вентиляции.

Продольная вентиляция может быть осуществлена из следующих схем:

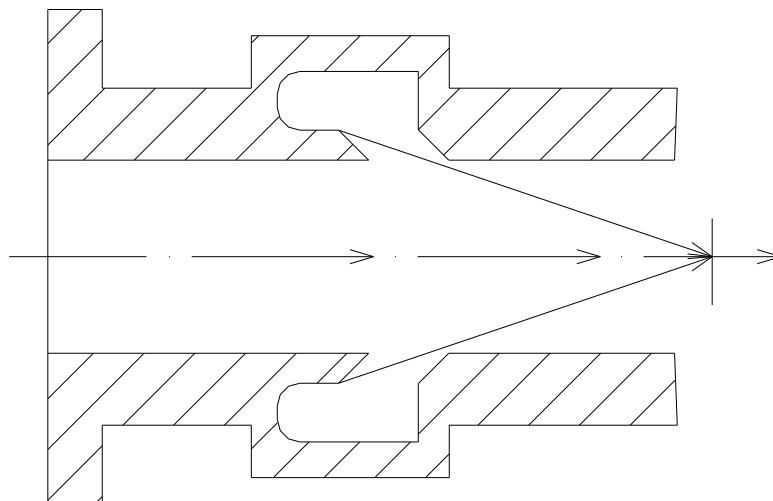
- 1) схема с вентиляционными шахтами



2) схеме с портальной установкой и закрытием выхода из тоннеля. Этот тип вентиляции является целесообразной при малой частоте движения для железнодорожных тоннелей.

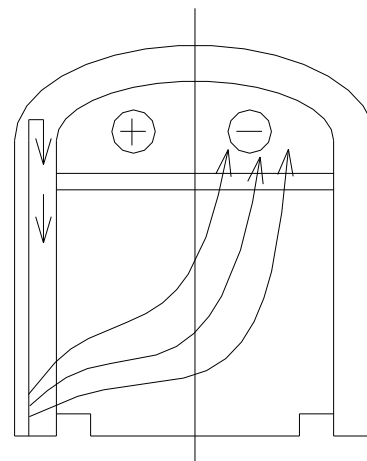
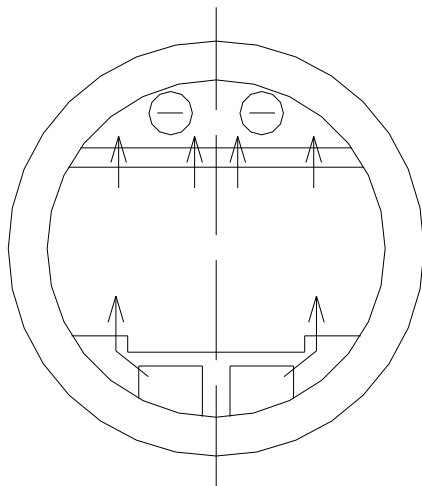


3) схема с портальной установкой и открытыми входами в тоннель.

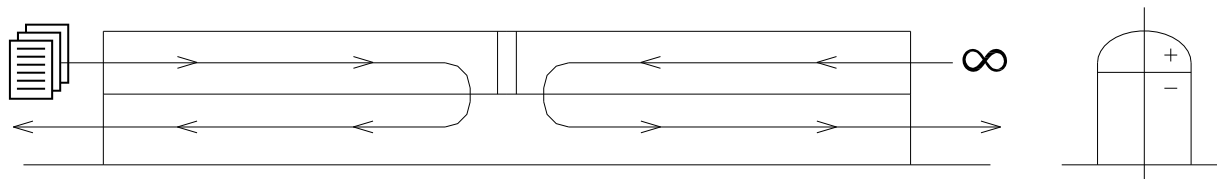


Поперечная вентиляция осуществляется наличием параллельных главному тоннелю каналов (одного для притока воздуха, другого для вытяжки). Обмен воздуха, между каналами обеспечивается в поперечных сечениях тоннеля.

Обмен воздуха между каналами обеспечивается в поперечных сечениях тоннеля.



Комбинированная система вентиляции, осуществляется в различных вариантах, сочетая элементы продольной и поперечной систем, в известной мере сохраняя их достоинства и недостатки.



Вентиляционные установки.

Для вентиляции тоннелей применяют вентиляторы двух типов: центробежные и осевые.

В центробежные вентиляторы воздух поступает перпендикулярно оси вращения. Они характеризуются высокими напорами, поэтому их применение целесообразно при большом сопротивлении сети.

В осевые вентиляторы подача воздуха происходит вдоль оси вращения. Они имеют сравнительно меньшие размеры, и обладает более высоким коэффициентом полезного действия, чем центробежные. Их недостатком является большой шум при работе, что требует применения специальных глушителей.

Практическая мощность установки N (квт) определяется по формуле:

$$N = K \frac{QH}{102\eta_e \eta_n}$$

здесь: K - коэффициент запаса мощности на пусковой момент двигателя ($K=1,05$ - для осевых вентиляторов, $K=1,1$ - для центробежных вентиляторов).

Q - объем проветривания

H - общий напор, создаваемый установкой, мм вод.ст.

η_e и η_n - к.п.д. вентилятора и передачи. При групповой установке, кроме механического к.п.д. вентиляторов, следует учитывать потери от параллельной их работы.

Потери напора на трение воздуха о стенки тоннеля (в продольной и комбинированной системах) h_t (мм вод.ст.) определяется по формуле:

$$h_t = k_f \gamma \frac{h_{уч} V_e^2}{R 2g}$$

здесь k_f - коэффициент трения, равный 0,006 - 0,007

γ - объемный вес воздуха, кг/м³

$h_{уч}$ - длина участка вентиляции, м

V_e - скорость движения воздуха в тоннеле, м/с

R - гидравлический радиус сечения, м

Потери напора в шахте $h_{ш}$ (мм воя. ст.) с учетом термического напора определяется по формуле:

$$h_{ш} = \frac{\gamma V_{ш}}{2g} \left(1 + \frac{\alpha H}{R} \right) + \gamma H \frac{t_T - t_H}{1 + \alpha t_T}$$

здесь H - глубина шахты, м

R - гидравлический радиус сечения шахты, м

$V_{ш}$ - скорость движения воздуха в шахте, м/сек

$t_T - t_H$ - температура соответственно наружного и тоннельного воздуха

Контрольные вопросы:

1. Какие факторы способствуют естественному проветриванию тоннелей?
2. Что такое барометрический напор и как определяется?
3. Что такое ветровой напор и как определяется?
4. Что такое тепловой напор как определяется?
5. Какими способами осуществляется искусственная вентиляция тоннелей?
6. Какие существуют схемы продольной вентиляции тоннелей?
7. Какие существуют схемы поперечной вентиляции тоннелей?
8. Какие виды вентиляторов используют при искусственной вентиляции тоннелей?
9. В чем заключается особенности работы центробежных и осевых вентиляторов при искусственной вентиляции тоннелей?
10. Как определяется практическая мощность вентиляторов при искусственной вентиляции тоннелей?
11. По каким параметрам определяется потери напора при искусственной вентиляции тоннелей?

ЛЕКЦИЯ 15: ИСКУССТВЕННОЕ УКРЕПЛЕНИЕ ПОРОД В ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ

ПЛАН:

1. Способ искусственного замораживания грунтов,
2. Способ химического закрепления грунтов.
3. Искусственное водопонижение

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА И ВЫРАЖЕНИЯ:

замораживание; химическое закрепление; водопонижение; тампонирующее
грунтов; льдогрунтовое ограждение; льдогрунтовый цилиндр; льдогрунтовой
массив; замораживающая колонка; холодоноситель; иньектор; депрессионная
кривая; депрессионная воронка; водопонижительные системы.

Искусственное укрепление пород в тоннелестроении.

В целях обеспечения устойчивости забоя и включения поступления грунтовой воды в выработку, при проходке тоннелей в слабо устойчивых грунтах, в обводненных породах, возникает необходимость искусственного укрепления грунтов. Существуют следующие способы искусственного укрепления грунтов:

- замораживание;
- химическое закрепление;
- водопонижение;
- тампонирующие различными составами.

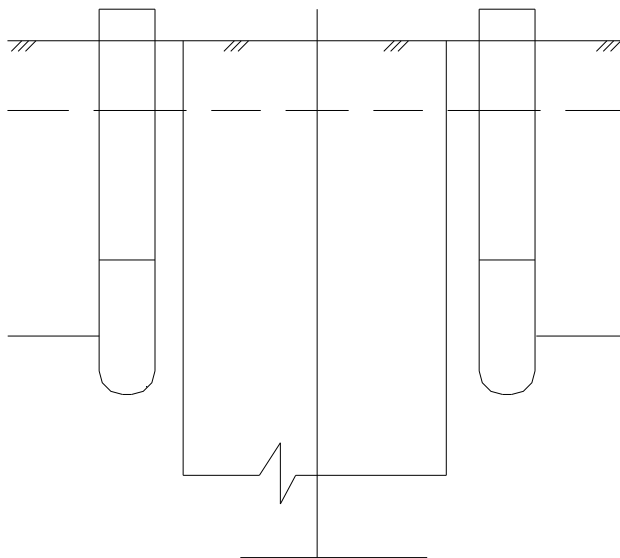
Искусственное замораживание - это способ укрепления грунтов, основанный на свойстве влажных и водонасыщенных грунтов приобретать значительную механическую прочность, устойчивости и водонепроницаемость при отрицательных температурах. При замораживании неустойчивый грунт превращается в льдогрунтовой монолит благодаря переходу грунтовой воды в лед.

Прочность замороженного грунта, оцениваемая пределен прочности на сжатии, зависит от температуры замороженного грунта, его минералогического и гранулометрического состава, от содержания воды в грунте, от скорости замораживания, длительности действия нагрузки и другие.

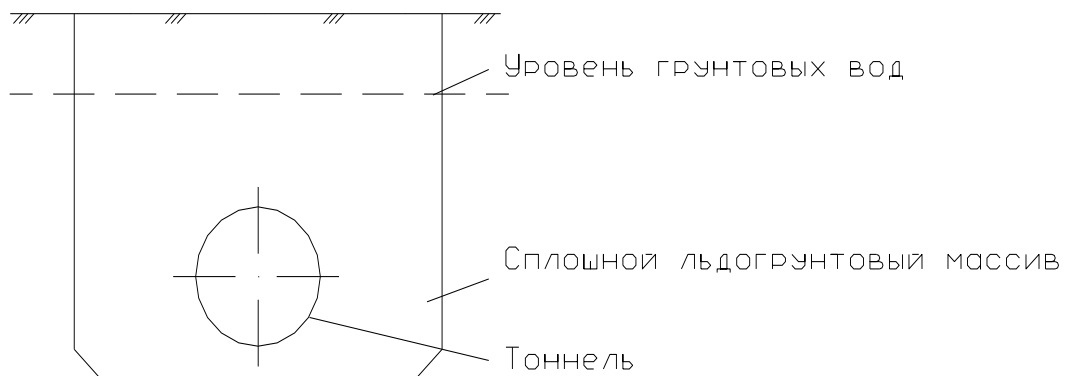
Грунты высушенные водой	Предел прочности на сжатие, Мпа, при температуре °С				
	От -1 До -5	От - 5 До -10	От -10 До -15	От -15 До -20	От – 20 До - 25
Песок	2,5 – 8,5	8,5-12,7	12,7-14,4	14,4,-15,22	15,2-18
Супесь	2,0 - 6,5	8,8-10,5	8,8-10,5	10,5-12,22	12,2-14
Глинистый	1,5 - 4,5	4,5-6	6-7,5	7,5-9,5	9,5-10
Пылевато- илистый	1 – 1,5	1,5-3,5	3,5-4,5	4,5-6,5	6,5-7
лёд	-	-	1,3-1,8	1,8-2	2-3

В тоннелестроении способ искусственного замораживания применяют для создания:

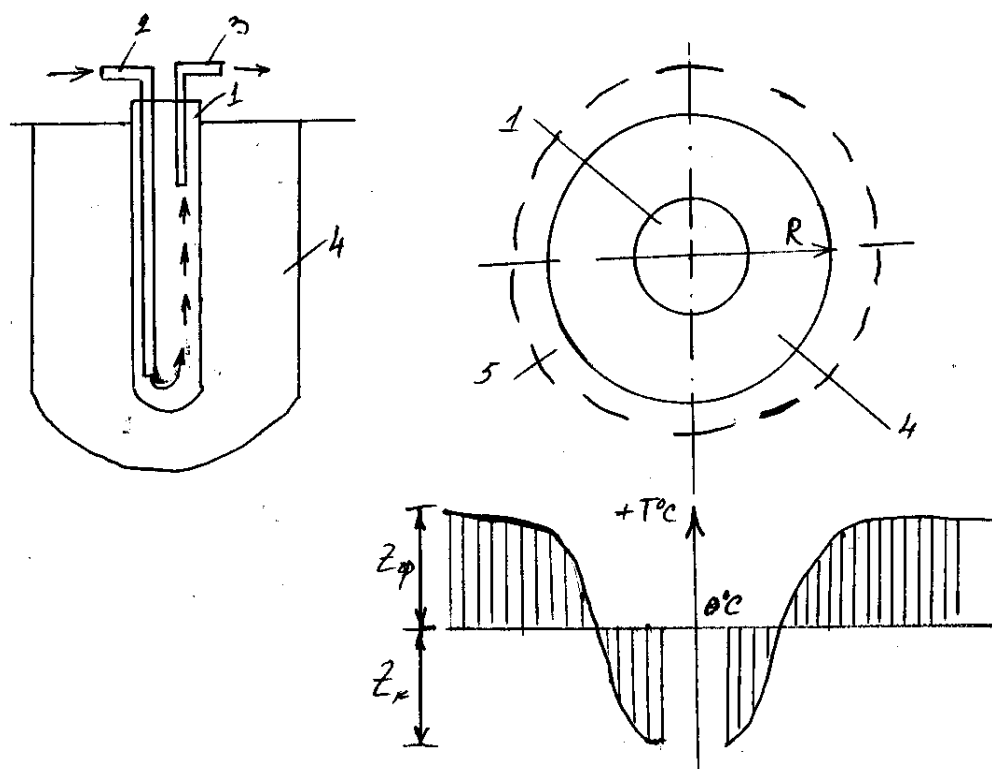
1) контурных льдогрунтовых ограждений, защищающих место ведения работ от неустойчивых обводненных грунтов



2) ограждении в виде сплошных льдогрунтовых массивов, внутри которых ведут проходку.



Грунт замораживают по следующим схемам



На схемах:

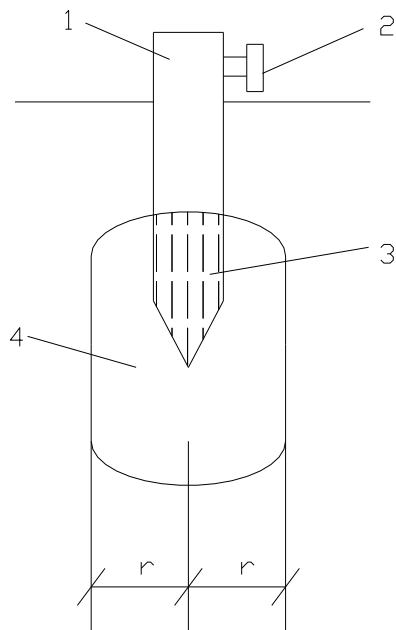
- 1- замораживающая колонка - стальная герметически закрытая труба $\varnothing$ 75-115 мм.
- 2- питательная трубка во которой подается жидкость с отрицательной температурой (холодоноситель).
- 3- отводящая трубка.
- 4- льдогрунтовой цилиндр, образуемая по мере циркуляции холодоносителя в замораживающей колонке.
- $R=1-1.5$ м- радиус льдогрунтового массива
- a - расстояние между замораживающими колонками устанавливаемые из условия образования сплошного контурного льдогрунтового ограждения или сплошного льдогрунтового массива.

Химическое закрепление и тампонирувание грунтов представляет собой процесс заполнения трещин, пустот, пор в грунте различит материалам, нагнетаемы» в грунт в жидком состоянии с последующим отвердением.

Тампонирувание грунта - это закрепление скальных и полускальных пород, в процессе которой снижается или исключается водопроницаемость грунта.

Химическое закрепление грунта - это закрепление песчаных, гравелистых и сильно раздробленных скальных и полускальных грунтов. При этом способе процесс отвердения связан с химическими реакциями - реакциями между компонентами нагнетаемых растворов, по этому наряду со снижением или исключением водопроницаемости, также повышается прочность и устойчивость грунта.

Схема тампонирования и химического закрепления грунта.



1 - Труба с перфорированной частью - иньектор.

2 - подача раствора (под давлением).

3 - перфорированная часть иньектора.

4 - закреплении грунт радиусом r .

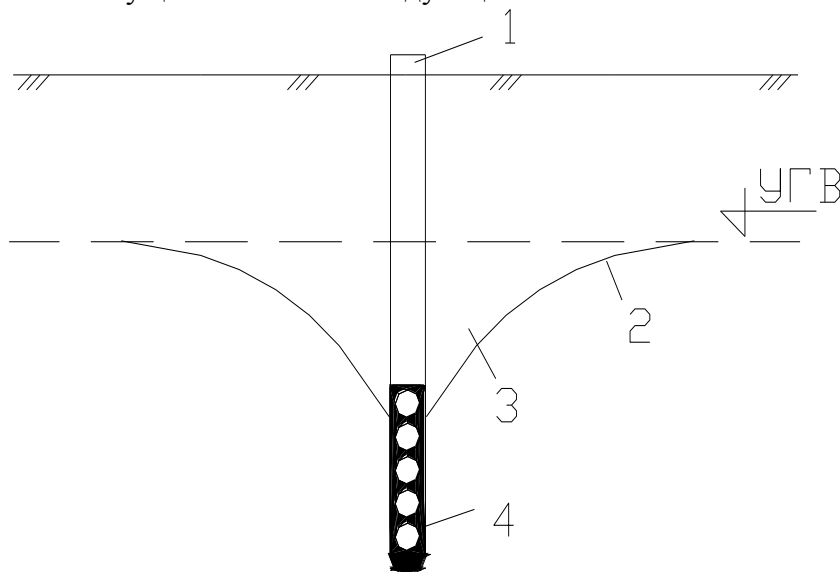
Размещая скважины или иньекторы в определенном порядке, получает контурное ограждение или сплошной закрепленный массив грунта.

Существуют следующие разновидности тампонирования и химического закрепления грунтов, отличающихся составом растворов: цементация, силикатизация, смололизация, глинизация, битумизация.

Искусственное водопонижение.

Назначение искусственного водопонижения состоит в том, чтобы до начала проходки тоннеля, раскрытия котлована или траншеи в обводненном грунте снизить естественный уровень грунтовой воды и поддерживать сниженный уровень до окончания строительства, обеспечив выполнение строительных работ в осушенном грунте.

Водопонижение осуществляется по следующей схеме:



1 - водопонижающая скважина, в которую поступает грунтовая вода.

2 - депрессионная кривая - воронкообразная поверхность грунтовых вод, образованная при откачке подземных вод.

3 - депрессионная воронка-пространство между непониженной поверхностью грунтового потока и депрессионной кривой.

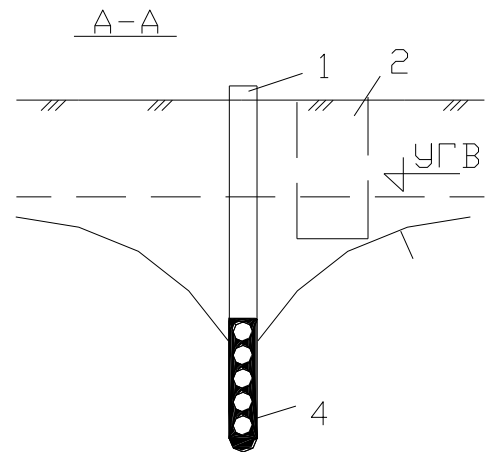
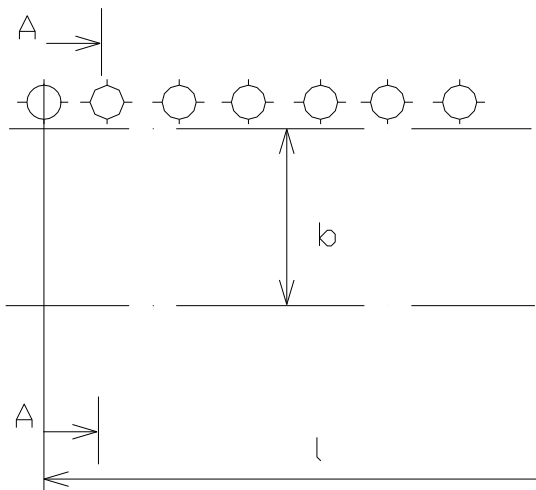
4 – фильтр

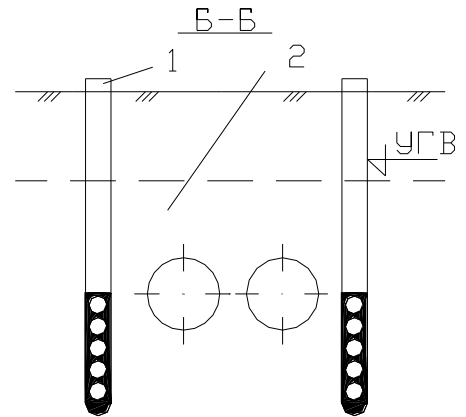
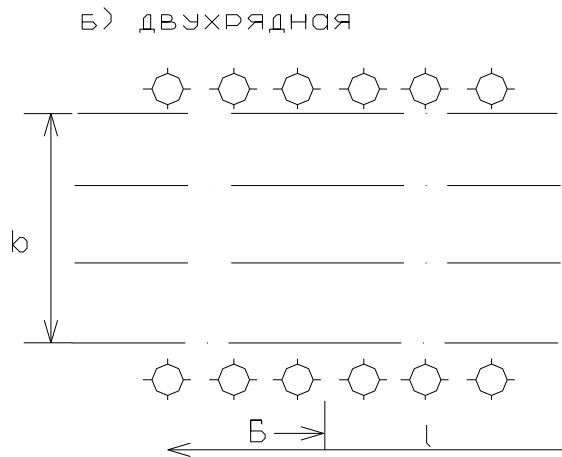
Искусственное водопонижение ведут системе водопонижающих скважин - водонизительных систем, которых подразделяют на:

- линейные - при расположении водопонижающих устройств в ряд по прямой линии;
- контурные - при их расположении по контуру, огибающему выработку;
- кольцевые - если контур расположения водопонижающих устройств замкнутый;
- ярусные - при расположении водопонижающих устройств группами на различной глубине (ярусами).

Линейные водопонижающие системы:

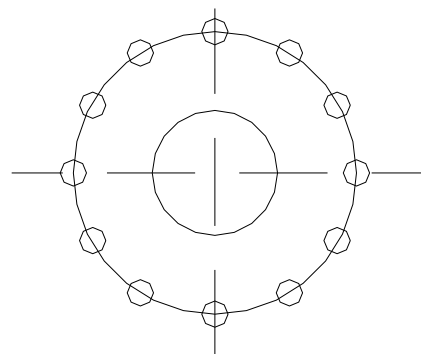
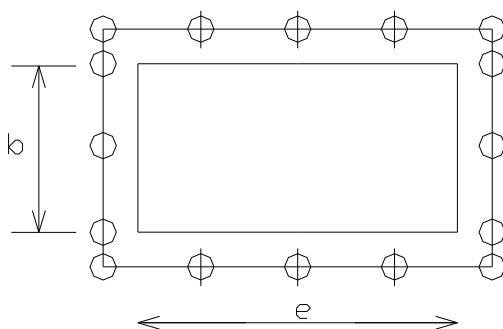
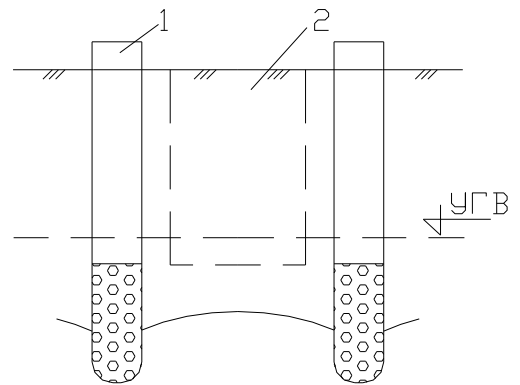
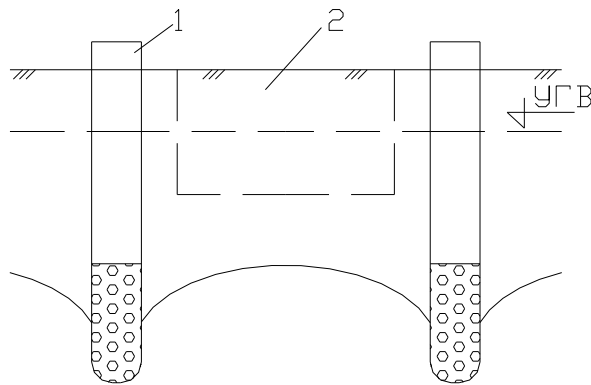
а) однорядная





1. Игольчатый фильтр;
2. Осушаемая зона
3. l - длина осушаемой зоны;
4. b - ширина осушаемой зоны;

Контурные водопонижительные системы



Контрольные вопросы:

1. Какие существуют способы искусственного укрепления грунтов?
2. В чем заключается сущность способе искусственного замораживания грунтов?
3. Какие существуют способы искусственного замораживания грунтов?
4. По каким схемам осуществляется замораживание грунтов?
5. В чем сущность тампонирувания грунтов?
6. В чем сущность искусственного закрепления грунтов?

7. По какой схеме осуществляется тампонирувание и химическое закрепление грунтов?
8. В чем заключается назначение искусственного водопонижения?
9. По какой схеме осуществляется водопонижение?
10. Какие существуют водопонизительные системы?

