

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет
Факультет транспортных коммуникаций
Кафедра «Мосты и тоннели»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине «Тоннели и подземные сооружения»
Тема: «Тоннель, сооружаемый щитовым способом»

Исполнитель: студент ФТК, 4-й курс, гр. 114711
_____ Иванов Иван Иванович

Руководитель проекта: старший преподаватель
_____ Яковлев Александр Александрович

Консультант проекта: к.т.н., доцент
_____ Бойко Игорь Леонидович

Минск, 2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет
Факультет транспортных коммуникаций
Кафедра «Мосты и тоннели»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к курсовому проекту
по дисциплине «Тоннели и подземные сооружения»

Тема: «Тоннель, сооружаемый щитовым способом»

Исполнитель: студент ФТК, 4-й курс, гр. 114711
_____ Иванов Иван Иванович

Руководитель проекта: старший преподаватель
_____ Яковлев Александр Александрович

Консультант проекта: к.т.н., доцент
_____ Бойко Игорь Леонидович

Минск, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

1. Исходные данные.....	
2. Обоснование принятого типа обделки.....	
2.1. Возможные варианты типов обделок в заданной проектной ситуации.....	
2.2. Обоснование принятого к проектированию типа обделки.....	
3. Проектирование конструкции обделки.....	
4. Расчет обделки.....	
4.1. Составление схемы нагрузок.....	
4.2. Составление расчетной схемы обделки.....	
4.3. Статический расчет обделки с использованием компьютерной программы.....	
5. Проверка прочности обделки и связей.....	
5.1. Проверка прочности сечений сегментов.....	
5.2. Проверка прочности радиальных стыков между блоками	
6. Технология строительства.....	
6.1. Разработка грунта в забое и его крепление.....	
6.2. Уборка грунта.....	
6.3. Монтаж обделки.....	
6.4. Нагнетание раствора за обделку.....	
6.5. Гидроизоляция обделки.....	
Литература.....	

1. Исходные данные

Вариант инженерно-геологических условий: шифр П1.4-5.1-14

П1.4-характер грунтов на трассе перегонного тоннеля, который применяется по методическому пособию табл. П1.1

5.1-глубина залегания уровня подземных вод, м;

14-расстояние от поверхности земли до верха проезжей части, м;

П.1.4	Вариант инженерно-геологических условий для перегонных тоннелей.
$\frac{1}{9}$	Песок гравелистый. $\gamma_s=26,6$ кН/м ³ $\gamma=18$ кН/м ³ $e=0,47$ $\varphi=42$ град. $f=0,6$ $K=0,4 \cdot 10^{-5}$ на глубине залегания 9 м.
3	Суглинки полутвердые. $\gamma_s=27,0$ кН/м ³ $\gamma=22,5$ кН/м ³ $e=0,43$ $\varphi=26$ град. $f=0,6$ $K=0,5 \cdot 10^{-5}$

γ_s - удельный вес частиц грунта;

γ - удельный вес грунта, кН/м³;

e -коэффициент пористости грунта;

φ -угол или кажущийся угол внутреннего трения грунта, град;

f -коэффициент крепости грунта по шкале Протодьякова;

K -расстояние между трещинами в грунте, м;

2. Обоснование принятого типа обделки

При назначении вариантов обделки исходят из того, чтобы обделка в заданных геологических условиях обладала требуемой жесткостью, водонепроницаемостью, технологичностью, долговечностью и в то же время была экономичной.

2.1 Возможные варианты типов обделок в заданной проектной ситуации

При щитовом способе строительства тоннелей применяют в основном сборные обделки кругового очертания. Они состоят из отдельных колец, каждое из которых собирают на монтаже из отдельных сегментов заводского изготовления: тубингов или блоков.

Щитовой способ применяют в самых разнообразных инженерно – геологических условиях, поэтому для обеспечения надежности и долговечности применяют различные типы обделок, каждая из которых эффективна в определенных грунтовых условиях.

Сборные обделки по конструктивной схеме и характеру статической работы делятся:

Жесткие обделки – сегменты соединяются в кольцо и между кольцами с помощью болтов, при этом монтируются с перевязкой продольных стыков.

Гибкие – это обделки, не имеющие связей растяжения в продольных стыках сегментов, хотя и могут иметь связи между кольцами, их монтируют без перевязки смежных колец.

В настоящее время применяют следующие типы сборных обделок: чугунная тубинговая, железобетонная блочная без связей, железобетонная блочная со связями, железобетонная блочная повышенной водонепроницаемости.

В нашем случае можно принять либо железобетонную блочную обделку без связей, либо железобетонную блочную обделку со связями.

Опишем основные характеристики каждого из вариантов:

Железобетонная блочная обделка без связей (рисунок 2.1)

Кольцо железобетонной обделки состоит из лоткового блока с плоской внутренней поверхностью, нормальных блоков и двух-трех замковых блоков-вкладышей.

В данной обделке геометрические параметры блоков остаются постоянными, независимо от величины действующих на обделку внешней нагрузки, а площадь сечения рабочей арматуры, симметрично расположенной в сечении, определяется расчётом по наибольшему изгибающему моменту в конкретных условиях загрузки обделки и принимается одинаковой для всех блоков кольца. Тем самым обеспечивается взаимозаменяемость блоков в кольце и упрощается процесс из изготовления.

Сопряжение всех элементов в кольце в виде цилиндрических стыков. Цилиндрический стык по статической работе представляет собой шарнирное соединение, допускающее некоторый взаимный поворот сопрягаемых

элементов. Обделка с такими стыками рассматривается как многошарнирное кольцо, геометрическая изменяемость которого обеспечивается работой обделки совместно с окружающим грунтовым массивом. В проектном положении блоки фиксируются относительно друг друга парными шпильками, устанавливаемыми при монтаже обделки. Шпильки представляют собой стальные штыри длиной 170мм и диаметром 27мм. Наличие шпилек способствует лучшему центрированию продольной силы в стыках и облегчает монтаж кольца.

Замыкание кольца производится железобетонными вкладышами, которые вручную заводятся с торца кольца. Для удержания вкладышей до нагнетания за обделку раствора на каждом из них закреплены по две стальные пластины для опирания их на смежные нормальные блоки.

Железобетонная блочная обделка со связями (рисунок 2.2)

Кольцо железобетонной обделки состоит из лоткового блока, нормальных блоков и двух замковых-вкладышей.

Применяют при строительстве в несвязных и малосвязных грунтах и сейсмически активных районах. Повышенная жесткость отдельных колец и всей обделки в продольном направлении тоннеля достигается жесткими соединениями блоков в углах пересечения продольных и поперечных стыков. Существуют различные конструктивные решения угловых связей между блоками. Например, каждый блок изготавливают со срезами четырех углов на всю толщину блоков либо на половину ее, с выпусками арматурных петель либо нарезных штырей. После монтажа колец срезанные углы блоков образуют квадратное отверстие или углубление, внутрь которого выступают арматурные петли или нарезные штыри. Под арматурные петли подводят стальную пластину с приваренными к ней нарезными штырями и закрепляют. В другом случае на выступающие из блоков штыри надевают стальную пластину с отверстиями и скрепляют болтами. После этого углубления омоноличивают.

2.2 Обоснование принятого к проектированию типа обделки

При выборе типа обделки в конкретной проектной ситуации следует анализировать такие показатели этих условий как деформационную характеристику (коэффициент упругого отпора, $K=0,5 \cdot 10^{-5} \text{ кН/м}^3$) и величину гидростатического давления водоносного грунта на уровне лотка тоннеля.

В случае залегания твердой супеси применяем сборную железобетонную обделку без связей. Отсутствие связей в продольных стыках позволяет снизить величину изгибающего момента блока за счет совместной работы многошарнирной обделки, окружающей грунт массивом, обладающей упругим отпором значительной величины.

3. Проектирование конструкции обделки

Кольцо такой обделки состоит из лоткового блока с плоской внутренней поверхностью, нормальных блоков и двух-трех замковых блоков-вкладышей. Сопряжение всех элементов в кольце выполняется в виде цилиндрических стыков. Цилиндрический стык по статической работе представляет собой шарнирное соединение, допускающее некоторый взаимный поворот сопрягаемых элементов. Обделка с такими стыками рассматривается как многошарнирное кольцо, геометрическая неизменяемость которого обеспечивается работой обделки совместно с окружающим грунтовым массивом.

Замыкание кольца производится железобетонными вкладышами, которые вручную заводятся с торца кольца. Для удержания вкладышей в кольце до нагнетания за обделку раствора на каждом из них закреплены по две стальные пластины для опирания их на смежные нормальные блоки.

Наличие лоткового блока с плоской внутренней поверхностью шириной 2,0...2,2 м обеспечивает размещение двух откаточных путей и людского прохода с одной стороны. По боковым поверхностям у внутренних кромок всех блоков предусмотрен чеканочный паз размерами 7x50 мм, образующий после монтажа примыкающих блоков чеканочную канавку, заполняемую впоследствии герметизирующим составом.

Внутренний диаметр обделки $D_{вн}=5,1$ м, толщина обделки равна 0,2 м.

Кольцо железобетонной блочной обделки состоит из шести нормальных, одного лоткового и одного ключевого блоков.

Разбиение кольца на сегменты производится следующим образом: центральный угол ключевого блока составляет 3° , а остальных семи блоков центральный угол составляет 51° .

Недостатками обделки без связей является то, что может появиться недопустимая эллиптичность колец (различие в величинах вертикального и горизонтального диаметров кольца) до момента набора прочности раствора первичного нагнетания, а в несвязных грунтах и в эксплуатационной стадии, в том числе и развитие «клавишного» эффекта.

4. Расчет обделки

4.1 Составление схемы нагрузок

Для выявления возможности наличия самонесущего свода вычерчиваем инженерно-геологический разрез со схемой сводообразования по Протодюякову.

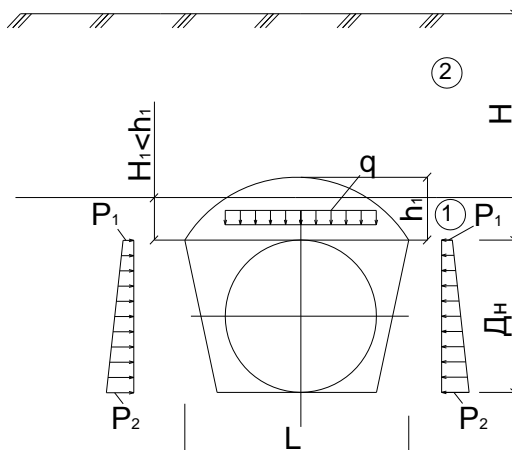


Рисунок 4.1.1 Схема для определения нагрузок от горного давления с учетом возможности сводообразования

Определяем высоту свода обрушения грунта

$$h_1 = \frac{L}{2f} = \frac{11,1}{2 \cdot 0,8} = 6,94 \text{ м,}$$

где L – пролет возможного свода обрушения определяемый по формуле,

$$L = d_n [1 + 2tg(45^\circ - \varphi/2)] = 5,5 \cdot [1 + 2tg(45^\circ - 36^\circ/2)] = 11,1 \text{ м}$$

f – коэффициент крепости грунта непосредственно над тоннелем;

φ – угол внутреннего трения грунта над тоннелем.

Грунтовый массив над тоннелем двухслойный с верхним слоем более слабого грунта, контакт с которым расположен в пределах свода обрушения. Так как верхний слой – песчаный грунт, не обладает способностью к сводообразованию, то горное давление определяется от веса вышележащей толщи грунтов.

Определение постоянных нагрузок

Нормативное значение вертикальной нагрузки определяется с учетом многослойности толщи над тоннелем по формуле

$$q_{zp}^n = H \cdot \gamma, \text{ кН/м}^2$$

где H – толщина слоя грунта над обделкой, м;

γ – удельный вес грунта, вмещающего обделку, кН/м^3

$$q_{zp}^n = 5,05 \cdot 20 = 101 \text{ кН/м}^2.$$

Нагрузку от собственного веса тоннельной обделки находим по следующей формуле:

$$q_{cs}^n = \frac{G}{2 \cdot D_n}, \text{ кН/м}$$

где G – вес кольца обделки, равный:

$$G = \gamma_{\text{с}} \cdot V = 25 \cdot 3,14 \cdot \frac{(5,5^2 - 5,1^2)}{4} \cdot 1 = 83,21 \text{ кН}$$

D_n – наружный диаметр обделки, м

$$q_{\text{св}}^n = \frac{83,21}{2 \cdot 5,5} = 7,56 \text{ кН/м.}$$

Так как вертикальная нагрузка была определена от веса вышележащего грунта, то горизонтальная нагрузка от грунта будет иметь вид трапеции.

Значение горизонтальной нагрузки в верхней точке тоннельной обделки равно:

$$P_{1\text{сп}}^n = q_{\text{сп}}^n \cdot \text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = 101 \cdot \text{tg}^2(45^\circ - \frac{36^\circ}{2}) = 26,22 \text{ кН/м}^2$$

Значение горизонтальной нагрузки в нижней точке тоннельной обделки равно:

$$P_{2\text{сп}}^n = (q_{\text{сп}}^n + D_n \cdot \gamma) \cdot \text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = (101 + 5,5 \cdot 20) \cdot \text{tg}^2(45^\circ - \frac{36^\circ}{2}) = 54,78 \text{ кН/м}^2$$

Расчетные значения нагрузок определяют путем умножения нормативных значений на коэффициент надежности по нагрузке γ_f :

$$q_{\text{сп}}^d = q_{\text{сп}}^n \cdot \gamma_f = 101 \cdot 1,1 = 111,1 \text{ кН/м}^2$$

$$q_{\text{св}}^d = q_{\text{св}}^n \cdot \gamma_f = 7,56 \cdot 1,1 = 8,32 \text{ кН/м.}$$

$$P_{1\text{сп}}^d = P_{1\text{сп}}^n \cdot \gamma_f = 26,22 \cdot 1,2 = 31,46 \text{ кН/м}^2$$

$$P_{2\text{сп}}^d = P_{2\text{сп}}^n \cdot \gamma_f = 54,78 \cdot 1,2 = 65,74 \text{ кН/м}^2.$$

Определение временных нагрузок

Нагрузки от транспортных средств на поверхности учитываются только в том случае, когда горное давление на обделку определяется от всей толщи грунта над тоннелем.

Временная нагрузка от автомобильного транспорта на поверхности определяется от тяжелой одиночной нормативной нагрузки НК-112.

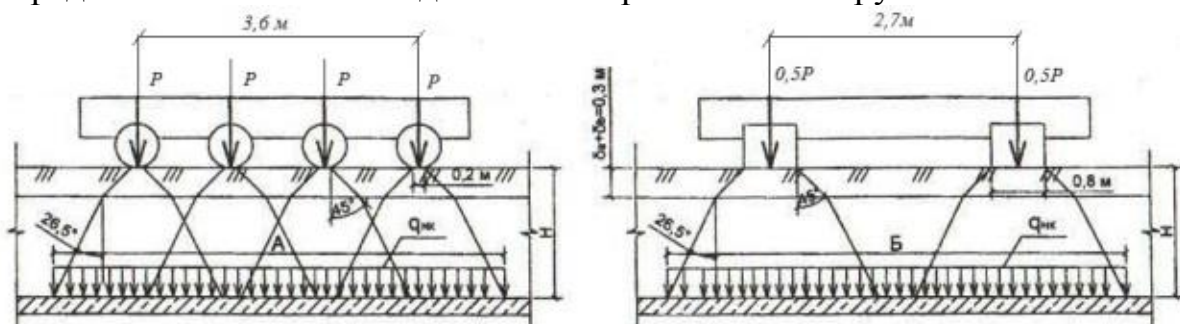


Рисунок 4.1.2 Схема для определения вертикальной нагрузки на обделку от транспортных средств на поверхности в виде одиночной колесной нагрузки НК-112

Нормативное вертикальное давление грунта на обделку от НК-112 равно:

$$q_{\text{н}}^{\text{сп}} = \frac{4P_1}{A \cdot B} = \frac{4 \cdot 275}{14,12 \cdot 13,82} = 5,64 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2},$$

где P_1 – осевая нагрузка, равная 275 кН;

А и Б – размеры площади передачи нагрузки в грунте на уровне верха обделки, м.

$$A = 3,6 + 2 \cdot 0,4 + 2(H - 0,3)\text{tg}26,5^\circ =$$

$$= 3,6 + 2 \cdot 0,4 + 2 \cdot (10,05 - 0,3)\text{tg}26,5^\circ = 14,12 \text{ м};$$

$$B = 2,7 + 2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,3 + 2(H - 0,3)\text{tg}26,5^\circ =$$

$$= 2,7 + 2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot (10,05 - 0,3)\text{tg}26,5^\circ = 13,82 \text{ м}.$$

Расчетное вертикальное давление грунта на обделку НК – 112 равно:

$$q_d^{ep} = q_n^{ep} \cdot \gamma_f = 5,64 \cdot 1,0 = 5,64 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}.$$

Нормативное горизонтальное давление грунта на обделку от НК–112 равно:

$$p_n^{ep} = q_n^{ep} \cdot tg^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = 5,64 \cdot tg^2 \left(45 - \frac{36}{2} \right) = 1,46 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}.$$

Расчетное горизонтальное давление грунта на обделку от НК–112 равно:

$$p_d^{ep} = p_n^{ep} \cdot \gamma_f = 1,46 \cdot 1,0 = 1,46 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}.$$

Таблица 4.1

Значения нагрузок, принимаемые в расчетной схеме

Наименование нагрузки	Обозначение	Величина, кН/м ²
Вертикальные:		
от толщи грунта	q_{zpd}	111,1
от временных нагрузок	q_{epd}	5,64
от собственного веса	$q_{свд}$	8,32
Горизонтальные:		
в верхней точки обделки	p_{1zpd}	31,46
в нижней точки обделки	p_{2zpd}	65,74
от временных нагрузок	P_{epd}	1,46
Принимаем в расчетной схеме:		
вертикальные	q_d	125,06
горизонтальные:		
в верхней точки обделки	p_{1d}	32,92
в нижней точки обделки	p_{2d}	67,2

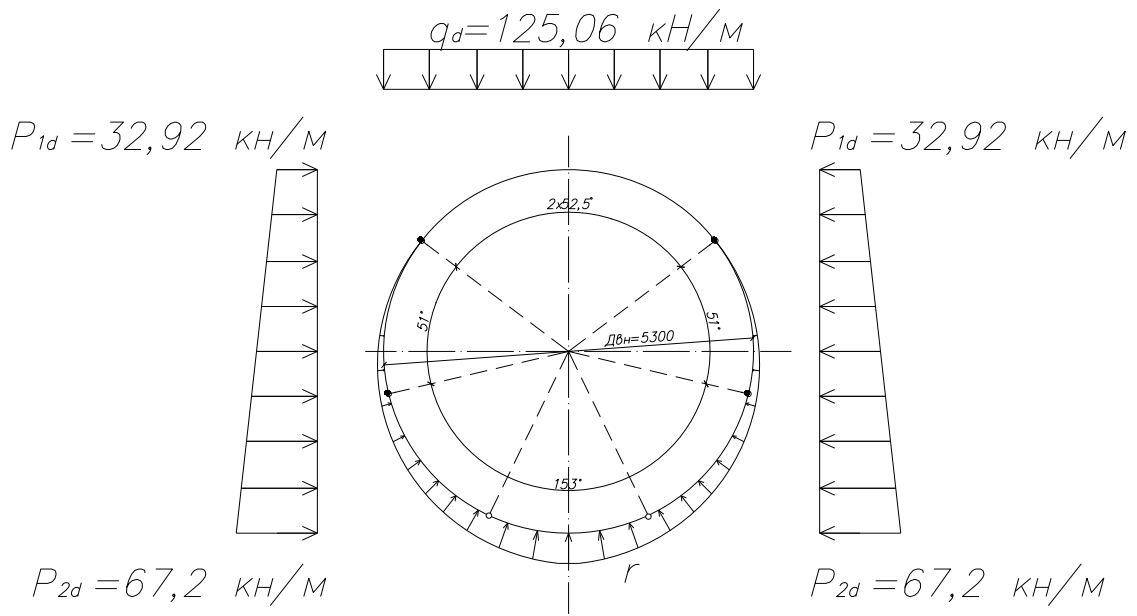


Рисунок 4.2 Схема нагрузок на железобетонную блочную обделку

4.2 Составление расчетной схемы обделок

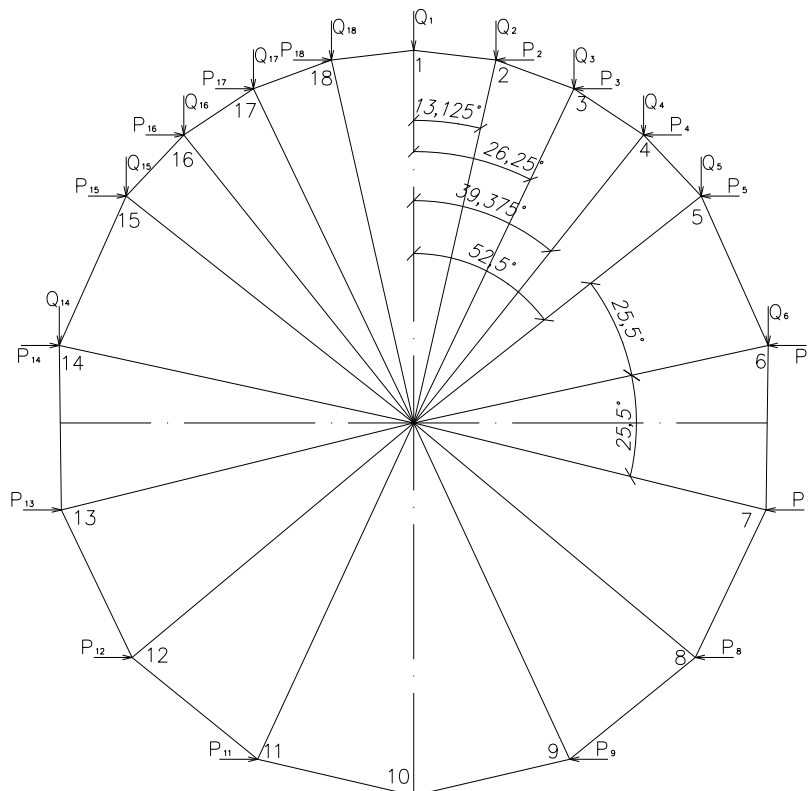


Рисунок 4.2 Расчетная схема обделки

Расчетная схема обделок в эксплуатационной стадии работы зависит от принятого метода статического расчета, типа обделки, упругих характеристик грунта и характера работы связей в ее продольных стыках.

Схема нагрузок представляет собой сочетание конструктивной схемы обделки, активных и пассивных воздействий на нее. Конструктивная схема графически изображается в виде контура круговой оси обделки с нанесенными на нем конструктивными шарнирами и обозначением их местоположения.

Преобразование схемы нагрузок в расчетную схему производится путем замены круговой оси кольца на стержневую систему учитывающую сопряжение элементов в обделке, рассматриваемых как шарнирные.

С целью получения в результате статического расчета максимальных изгибающих моментов в элементах обделки половина безотпорного участка схемы нагрузок с центральным углом $\varphi_0 = 52,5^\circ$ делится на четыре равные части, а на отпорном участке контура каждый блок (расстояние между шарнирами) делится на две равные части.

Замена распределенной нагрузки сосредоточенными силами производится на основе следующего принципа: каждая сосредоточенная сила, заменяющая распределенную нагрузку в произвольном узле n (вертикальная Q_n и вертикальная P_n), равна части распределенной нагрузки, приходящейся на горизонтальные для нагрузки q или вертикальные для нагрузки p проекции половин стержней, сходящихся в узле n .

Так, сосредоточенная вертикальная сила в произвольном узле n

$$Q_n = \frac{q(X_{n+1} - X_{n-1})}{2}$$

Для трапецевидной эпюры горизонтальной нагрузки с крайними ординатами p_1 и p_k сначала определяют ординаты этой эпюры на уровне промежуточных узлов по формуле

$$p_n = \frac{p_k - p_1}{Y_k} \cdot Y_n + p_1$$

Затем определяют сосредоточенные силы P_n , заменяющие распределенную нагрузку, по формуле

$$P_n = \frac{1}{8} [(3p_n + p_{n-1})\Delta Y_{n-1} + (3p_n + p_{n+1})\Delta Y_n]$$

где ΔY_{n-1} и ΔY_n – проекции на координатную ось Y стержней, сходящихся в узле n , соответственно верхнего α_{n-1} и нижнего α_n .

$$Q_1 = 125,06 \cdot 0,602 = 75,29 \text{ кН}$$

$$Q_2 = \frac{125,06 \cdot (1,172 - 0)}{2} = 73,29 \text{ кН}$$

$$Q_3 = \frac{125,06 \cdot (1,681 - 0,602)}{2} = 67,47 \text{ кН}$$

$$Q_4 = \frac{125,06 \cdot (2,102 - 1,172)}{2} = 58,15 \text{ кН}$$

$$Q_5 = \frac{125,06 \cdot (2,592 - 1,681)}{2} = 56,96 \text{ кН}$$

$$Q_6 = \frac{125,06 \cdot (2,577 - 2,102)}{2} = 29,7 \text{ кН}$$

$$p_1 = 32,92 \text{ кН/м}^2$$

$$p_2 = \frac{(67,2 - 32,92)}{5,3} \cdot 0,069 + 32,92 = 33,37 \text{ кН/м}^2$$

$$p_3 = \frac{(67,2 - 32,92)}{5,3} \cdot 0,273 + 32,92 = 34,69 \text{ кН/м}^2$$

$$p_4 = \frac{(67,2 - 32,92)}{5,3} \cdot 0,602 + 32,92 = 36,81 \text{ кН/м}^2$$

$$p_5 = \frac{(67,2 - 32,92)}{5,3} \cdot 1,037 + 32,92 = 39,63 \text{ кН/м}^2$$

$$p_6 = \frac{(67,2 - 32,92)}{5,3} \cdot 2,099 + 32,92 = 46,5 \text{ кН/м}^2$$

$$p_7 = \frac{(67,2 - 32,92)}{5,3} \cdot 3,269 + 32,92 = 54,06 \text{ кН/м}^2$$

$$p_8 = \frac{(67,2 - 32,92)}{5,3} \cdot 4,318 + 32,92 = 60,85 \text{ кН/м}^2$$

$$p_9 = \frac{(67,2 - 32,92)}{5,3} \cdot 5,042 + 32,92 = 65,53 \text{ кН/м}^2$$

$$p_{10} = \frac{(67,2 - 32,92)}{5,3} \cdot 5,3 + 32,92 = 67,2 \text{ кН/м}^2$$

$$P_1 = \frac{1}{8} [(3 \cdot 32,92 + 33,37) \cdot 0,069 + (3 \cdot 32,92 + 33,37) \cdot (-0,069)] = 0 \text{ кН}$$

$$P_2 = \frac{1}{8} [(3 \cdot 33,37 + 32,92) \cdot 0,069 + (3 \cdot 33,37 + 34,69) \cdot 0,204] = 4,58 \text{ кН}$$

$$P_3 = \frac{1}{8} [(3 \cdot 34,69 + 33,37) \cdot 0,204 + (3 \cdot 34,69 + 36,81) \cdot 0,329] = 9,3 \text{ кН}$$

$$P_4 = \frac{1}{8} [(3 \cdot 36,81 + 34,69) \cdot 0,329 + (3 \cdot 36,81 + 39,63) \cdot 0,435] = 14,13 \text{ кН}$$

$$P_5 = \frac{1}{8} [(3 \cdot 39,63 + 36,81) \cdot 0,435 + (3 \cdot 39,63 + 46,5) \cdot 1,062] = 30,42 \text{ кН}$$

$$P_6 = \frac{1}{8} [(3 \cdot 46,5 + 39,63) \cdot 1,062 + (3 \cdot 46,5 + 54,06) \cdot 1,17] = 52,09 \text{ кН}$$

$$P_7 = \frac{1}{8} [(3 \cdot 54,06 + 46,5) \cdot 1,17 + (3 \cdot 54,06 + 60,85) \cdot 1,049] = 59,76 \text{ кН}$$

$$P_8 = \frac{1}{8} [(3 \cdot 60,85 + 54,06) \cdot 1,049 + (3 \cdot 60,85 + 65,53) \cdot 0,724] = 53,48 \text{ кН}$$

$$P_9 = \frac{1}{8} [(3 \cdot 65,53 + 60,85) \cdot 0,724 + (3 \cdot 65,53 + 67,2) \cdot 0,258] = 31,81 \text{ кН}$$

$$P_{10} = \frac{1}{8} [(3 \cdot 67,2 + 65,53) \cdot 0,258 + (3 \cdot 67,2 + 65,53) \cdot (-0,258)] = 0 \text{ кН}$$

Деформационное взаимодействие обделки и грунта на отпорной части расчетной схемы заменяется упругими стержневыми опорами с эквивалентными характеристиками жесткости.

Характеристика жесткости D всех опор, кроме опор примыкающих к безотпорной зоне, определяется по формуле:

$$D = k \cdot a \cdot b, \text{ кН/м}$$

где k – коэффициент упругого отпора грунта, кН/м^3 ;

a – длина стержня расчетной схемы, м;

b – ширина кольца обделки, м.

$$a = 2 \cdot R \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 5,3 \cdot \sin \frac{25,5}{2} = 1,17 \text{ м}$$

$$D = 0,4 \cdot 10^5 \cdot 1,17 \cdot 1 = 46800 \text{ кН/м.}$$

Для опор примыкающих к безотпорной зоне характеристика жесткости определяется по следующей формуле:

$$D = k \cdot a \cdot b \cdot 0,5 = 0,5 \cdot 10^5 \cdot 1,17 \cdot 1 \cdot 0,5 = 29250 \text{ кН/м.}$$

Геометрические характеристики расчетной схемы представлены в таблице 4.2.

4.3. Статический расчет обделки

Статический расчет обделки выполнен с помощью программного комплекса SCAD. В результате статического расчета получены эпюры момента M и поперечной силы N от действия нагрузок.

Таблица 4.2

Геометрические характеристики расчетной схемы

№ узлов	Величина угла α_n , град	$\sin\alpha_n$	$\cos\alpha_n$	Координаты узлов, м		Проекция сторон многоугольника		Сосредоточенные силы, кН		Характеристики жесткости опорных стержней, кН/м		
				X	Y	ΔX	ΔY	Q	P	Д	Д _x	Д _y
1	0	0	1	0	0			75,29	0	-	-	-
2	13,125	0,22	0,974	0,602	0,069	0,602	0,069	73,29	4,58	-	-	-
3	26,25	0,442	0,897	1,172	0,273	0,57	0,204	67,47	9,3	-	-	-
4	39,375	0,634	0,773	1,681	0,602	0,509	0,329	58,15	14,13	-	-	-
5	52,5	0,793	0,609	2,102	1,037	0,421	0,435	56,96	30,42	29250	23195	17813
6	78	0,978	0,209	2,592	2,099	0,49	1,062	29,7	52,09	46800	45770	9781
7	103,5	0,973	-0,233	2,577	3,269	0,015	1,17		59,76	46800	45536	10904
8	129	0,779	-0,628	2,059	4,318	0,518	1,049		53,48	46800	36457	29390
9	154,5	0,432	-0,902	1,141	5,042	0,918	0,724		31,81	46800	20218	42214
10	180	0	-1	0	5,3	1,141	0,258		0	46800	0	46800
11	205,5	-0,429	-0,903	-1,141	5,042	1,141	0,258		31,81	46800	20077	42260
12	231	-0,776	-0,631	-2,059	4,318	0,918	0,724		53,48	46800	36317	29531
13	256,5	-0,972	-0,236	-2,577	3,269	0,518	1,049		59,76	46800	45490	11045
14	282	-0,979	0,205	-2,592	2,099	0,015	1,17	29,7	52,09	46800	45817	9594
15	307,5	-0,795	0,607	-2,102	1,037	0,49	1,062	56,96	30,42	29250	23254	28408
16	320,625	-0,637	0,771	-1,681	0,602	0,421	0,435	58,15	14,13	-	-	-
17	333,75	-0,445	0,896	-1,172	0,273	0,509	0,329	67,47	9,3	-	-	-
18	346,875	-0,230	0,973	-0,602	0,069	0,57	0,204	73,29	4,58	-	-	-
						0,602	0,069					

5. Проверка прочности блоков обделки и связей

5.1. Проверка прочности сечения блока обделки

Проверим прочность элемента сборной обделки с центральным углом $\alpha = 51^\circ$ и расчетным радиусом $r = 2,65$ м.

Размеры поперечного сечения $h = 200$ мм, $b = 1000$ мм, $a = a' = 30$ мм.

Бетон класса В30: $R_b = 15,6$ МПа; $E_b = 29600$ МПа.

Площадь сечения продольной арматуры:

$A_s = A_s' = 616$ мм² (4Ø14 АШ, $R_s = R_{sc} = 365$ МПа, $E_s = 200000$ МПа).

Расчетные усилия от действия внешней нагрузки в сечении: продольная сила $N = 255,79$ кН, изгибающий момент равен $M = 38,47$ кНм.

Определяем геометрические параметры сечения и элемента:

- площадь поперечного сечения

$$A = b \cdot h = 1000 \cdot 200 = 200000 \text{ мм}^2;$$

- момент инерции сечения

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1000 \cdot 200^3}{12} = 66667 \cdot 10^4 \text{ мм}^2;$$

- радиус элемента по расчетной оси

$$i = \sqrt{\frac{J}{A}} = \sqrt{\frac{66667 \cdot 10^4}{200000}} = 57,7 \text{ мм};$$

- длина элемента по расчетной оси

$$s = \frac{\alpha}{180} \cdot \pi \cdot r = \frac{51}{180} \cdot 3,14 \cdot 2650 = 2358 \text{ мм}.$$

- расчетная длина

$$l_0 = 0,54 \cdot s = 0,54 \cdot 2358 = 1273,32 \text{ мм}.$$

- гибкость элемента

$$\frac{l_0}{i} = \frac{1273,32}{57,7} = 22,08 > 14,$$

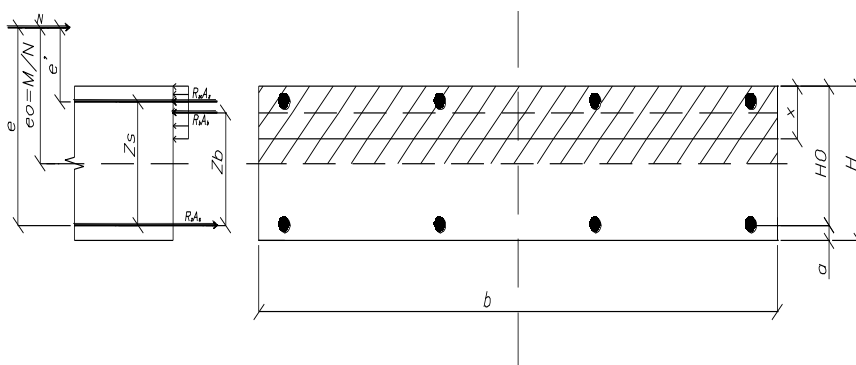


Рисунок 5.1 Схема усилий в прямоугольном сечении

Следовательно при определении эксцентриситета в расчете необходимо учитывать коэффициент η .

- рабочая высота сечения

$$h_0 = h - a = 200 - 30 = 170 \text{ мм.}$$

- значения случайного эксцентриситета:

$$e_a = s/600 = 2358/600 = 3,93 \text{ мм;}$$

$$e_a = h/30 = 200/30 = 6,67 \text{ мм;}$$

$$e_a = 10 \text{ мм.}$$

За окончательное значение e_a принимаем значение $e_a = 10 \text{ мм}$.

- значение расчетного эксцентриситета:

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{38,47}{255,79} = 150 \text{ мм}$$

Так $e_0 > e_a$, то в дальнейший расчет принимаем именно значение $e_0 = 150 \text{ мм}$.

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{255,79}{21907,8}} = 1,01$$

где N_{cr} – условная критическая сила, определяемая по следующей формуле:

$$N_{cr} = 0,15 \cdot \frac{E_b \cdot A}{\left(\frac{l_0}{h}\right)^2} = 0,15 \cdot \frac{29600 \cdot 200000}{\left(\frac{1273,32}{200}\right)^2} = 21907,8 \text{ кН.}$$

Значение e определяется по следующей формуле:

$$e = e_0 \cdot \eta + \frac{(h_0 - a')}{2} = 150 \cdot 1,01 + \frac{(170 - 30)}{2} = 221,5 \text{ мм.}$$

Относительная высота сжатой зоны бетона равна

$$\xi = \frac{N}{R_b \cdot b \cdot h_0} = \frac{255790}{15,6 \cdot 1000 \cdot 170} = 0,096 < \xi_R = 0,583.$$

Условие прочности

$$N \cdot e < R_b \cdot b \cdot h_0^2 \cdot \xi \left(1 - \frac{\xi}{2}\right) + R_{sc} \cdot A'_s (h_0 - a');$$

$$255790 \cdot 221,5 < 15,6 \cdot 1000 \cdot 170^2 \cdot 0,098 \left(1 - \frac{0,098}{2}\right) + 365 \cdot 616(170 - 30);$$

$$56657485 < 73494986,32 \text{ Нмм;}$$

$56,66 < 73,49 \text{ кНм}$, т.е. условие прочности выполняется.

5.2. Проверка прочности радиальных стыков между блоками

В продольных стыках между блоками нормальная сила N передается по ограниченной площадке, вызывая концентрацию напряжений, которая может привести к образованию трещин в бетоне и отколов его. Поэтому стыки должны быть усилены сварными сетками или спиральной арматурой.

Для неармированного косвенной арматурой продольного стыка должно выполняться условие

$$N < \psi \cdot R_{b,loc} \cdot A_{b,loc} \cdot 10, (1)$$

где ψ – коэффициент, учитывающий характер распределения усилия по площадке смятия, ($\psi = 1$);

$R_{b,loc} = \alpha \cdot R_b$ – расчетное сопротивление бетона смятию, МПа;

для бетона класса В30 $\alpha = \frac{13,5 \cdot R_{bt}}{R_b} = \frac{13,5 \cdot 1,2}{17} = 0,953$ (R_{bt} и R_b – расчетные сопротивления бетона осевому растяжению и сжатию, МПа) $R_{b,loc} = 0,953 \cdot 17 = 16,2$ МПа;

$A_{b,loc} = b \cdot x$ – площадь площадки смятия, см², высота которой x , см определяется по следующей формуле:

$$x = 3,15 \cdot \sqrt{\frac{N \cdot 10}{b \cdot E_b} \cdot \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 - r_2}} = 3,15 \cdot \sqrt{\frac{255,79 \cdot 10}{100 \cdot 29600} \cdot \frac{27 \cdot 22}{27 - 22}} = 0,323 \text{ см}$$

где N – нормальная сила в стыке, кН;

b – ширина кольца обделки, см;

E_b – модуль упругости бетона, МПа;

r_1, r_2 – радиусы кривизны торцов блоков, см.

Тогда $A_{b,loc} = 100 \cdot 0,963 = 96,3$ см².

Проверим условие (1)

$255,79 < 1 \cdot 16,2 \cdot 96,3 \cdot 10 = 15600,6$ кН т.е. условие прочности радиального стыка между блоками обделки выполняется.

Так как условие (1) выполняется, то торцы блоков обделки конструктивно армируем одной сварной сеткой и спиральной арматурой из проволоки диаметром $d = 4$ мм. Диаметр спирали принимаем равным 120...170 мм, шаг спирали – 60 мм.

6. Технология строительства

Технология строительства тоннелей щитовым комплексом – это совокупность взаимосвязанных горнопроходческих операций по разработке и уборке грунта, устройству гидроизоляции обделки, выполняемых неизменным составом рабочих с помощью единого механизированного комплекса проходческого оборудования, создающего возможность автоматического управления технологическими процессами.

Существуют две группы технологии строительства тоннелей щитовым комплексом: традиционная и высокая (инновационная).

В нашем случае используем традиционную технологию строительства тоннеля.

Традиционная технология – это технология строительства тоннеля, основанная на использовании обычных традиционных принципов ведения горно-строительных работ (разработка выработки, ее временное крепление с последующим возведением обделки). При этом механизировано выполняются либо все основные операции, либо их часть.

В нашем случае применяем полумеханизированный щитовой комплекс.

6.1. Разработка грунта в забое и его крепление

Разработку грунта в забое выполняют с помощью полумеханизированного проходческого щита ЩН-1С.

При проходке в мягких грунтах кровлю выработки защищают путем наращивания ножевой части щита аванбеком – приваренным стальным листом и выступающий за пределы кромки щита на 250 мм.

В период передвижения щита производится срезка кромки грунта, поставленная по периметру при подработке контурной щели. Непосредственно перед передвижением щита с забойных домкратов снимают контр упор и фиксируют распирающие брусья контр упорами меньшей длины.

При строительстве тоннелей полумеханизированным щитовым комплексом разработку грунта в забое выполняют с использованием ручных пневматических инструментов. Крепление забоя выполняют с помощью ручного труда.

Порядок разработки грунта

Работы начинают со средней ячейки верхнего яруса и выполняют сразу на всю высоту ячейки. После этого забой в пределах ячейки закрепляют досками в разбежку и закрепляются брусьями через забойные домкраты.

Затем работы ведут аналогично в боковых ячейках.

После этого выдвигают рабочие платформы и под их защитой продолжают разработку в нижнем ярусе.

Грунт разрабатывается ручными пневматическими инструментами – отбойными молотками или пневматическими лопатами.

В зависимости от степени твердости грунта его разрабатывают используя пику-ломик или пику-лопату.

Таким образом, в этом случае разработка грунта в забое и крепление забоя выполняется с использованием ручного труда и самое главное, что основные операции – разработка грунта и устройство обделки не могут быть совмещены.

6.2. Уборка грунта

Разработанный грунт сбрасывают в зону действия погрузочной машины.

Погрузку грунта в вагонетки производят породопогрузочной машиной ППМ2. С помощью этой машины производят обмен груженых вагонеток на порожние.

6.3. Монтаж обделки

При щитовой проходке в большинстве случаев применяют сборные обделки. Монтаж сборных обделок ведут в зоне оболочки (хвостовой части щита) с помощью специальных механизмов – тоннельных укладчиков.

Процесс возведения сборных обделок состоит из следующих операций:

- 1) Доставка элементов обделки в зону действия тоннельного укладчика;
- 2) Закрепление их на захватном устройстве тоннельного укладчика;
- 3) Подача элементов к месту укладки в кольцо обделки;
- 4) Фиксация элементов в проектное положение и замыкание кольца.

Доставка элементов обделки к щитовому комплексу производится рельсовым транспортом на специальных платформах – блоковозках, составов, вмещающим все элементы одного кольца обделки.

При проходке обычным полумеханизированным комплексом платформы с элементами обделки подают непосредственно к тоннельному укладчику, с помощью которого автоматически происходит захват очередного элемента и подача его в нужное положение.

Способ строповки закрепления элемента на захватном устройстве зависит от типа укладчика и вида обделки.

Железобетонные блоки при традиционном способе строительства закрепляют на захвате тоннельного укладчика с использованием отверстий для нагнетания или монтажных петель, предусмотренных в блоках.

Монтаж обделки из железобетонных блоков выполняют с помощью блокоукладчика, оборудованного выдвижными балками для поддержания в проектном положении блоков, расположенных выше горизонтального диаметра обделки на период до замыкания кольца.

Монтаж начинают с укладки лоткового блока. Затем монтируют поочередно с обеих сторон кольца остальные блоки с фиксацией их положения с помощью монтажных шпилек и в последующую очередь заводят вручную замковые блоки.

Взаимное проектное положение блока обеспечивается конструкцией радиального стыка и монтажных шпилек, которые вставляются в гнезда предыдущего блока и соединяются с последующим.

Качество монтажа:

1) взаимное смещение блоков в кольце не должно превышать 10 мм, а между кольцами 15 мм;

2) эллиптичность до передвижения щита и блокоукладчика допускается ± 25 мм; после их передвижки - ± 50 мм.

Для ликвидации сверхдопустимой эллиптичности кольца устанавливают стальные стяжки, которые снимают после первичного нагнетания.

6.4. Нагнетание раствора за обделку

При строительстве тоннеля традиционной технологией строительства полумеханизированным щитовым комплексом выполняют обычно первичное и

контрольное нагнетание растворов за обделку

Первичное нагнетание

Первичное нагнетание растворов за обделку тоннелей щитового способа строительства выполняют с целью заполнения зазоров между обделкой и контуром выработки, для обеспечения ее совместной работы с окружающим грунтовым массивом, для распределения горного давления на обделку, для уменьшения разрыхления грунта над обделкой, а следовательно и осадок поверхности земли над ней.

Это нагнетание способствует гидроизоляции обделки.

Для первичного нагнетания применяют цементно-песчаный раствор. Он не должен расслаиваться и образовывать пробки в растворопроводе при нагнетании его за обделку, а также полностью заполнять пустоты за обделкой.

Раствор должен обладать следующими качествами:

1) Подвижность должна быть в пределах 14-20 см;

2) Начало схватывания не менее, чем через 40 мин;

3) Расслаиваемость не должна превышать 10 см;

4) Срок схватывания должен быть определен в зависимости от времени и от технологии строительства.

Для приготовления цементно-песчаного раствора применяют цементы марок М300 и М400, и песок с модулем крупности $M_{кр}=2,5$.

Для повышения водонепроницаемости, уменьшения усадочных трещин затвердевшего раствора, регулирования сроков схватывания вводят специальные добавки.

Соотношение Ц/П для железобетонной блочной обделки – 1/2.

Перед нагнетанием раствора зазоры между обделкой и оболочкой щита по торцу обделки заполняют уплотнительным материалом или закрывают специальным устройством – упорно-уплотнительным кольцом щита.

Растворопровод по которому подается раствор при нагнетании закрепляют на обделке с помощью специальных инъекторов.

При блочной обделке нагнетание производят через специальные отверстия для нагнетания. Для этого используют инъекторы специального назначения.

Способ закрепления инъектора:

Инъектор заводят в отверстия для нагнетания и поворачивают на 90°, а затем завинчиванием прижимной гайки уплотняют резиновые прокладки в прижим к внутренней поверхности блока и обеспечивают герметичность отверстия.

Первичное нагнетание производят за каждое последующее смонтированное кольцо обделки. Раствор для нагнетания производят на месте производства работ.

Подачу песка и цемента осуществляют в закрытых контейнерах в дозировочном виде.

Загрузку материалов в аппарат для приготовления и нагнетания раствора производят в последовательности: сначала заливают воду и в нее вводят добавки, перемешивают состав, а затем загружают песок и цемент, и перемешивают 10-20 минут.

Для нагнетания применяют насосы механического действия (С-263, С-317) или пневморастворагнетатели (РН-1), в которых производят приготовление раствора из сухой смеси, подаваемой к месту работ в контейнерах в дозировочном виде.

Сначала нагнетают раствор за лотковый блок, пока раствор не начинает вытекать из отверстий примыкающих блоков. Нагнетание останавливают, инъектор извлекают, отверстие закрывают деревянной пробкой и инъектор переводят в отверстия примыкающих блоков симметрично.

Контрольное нагнетание

Контрольное нагнетание цементного раствора за все виды сборных обделок традиционной технологии строительства производят с целью повышения водонепроницаемости швов обделки, заполнения усадочных и других трещин в затвердевшем растворе первичного нагнетания.

Контрольное нагнетание является гидроизоляционным мероприятием и его выполняют в зоне устройства гидроизоляции обделки, т.е. не ближе 30 м от забоя.

Для контрольного нагнетания применяют цементные растворы, которые должны отвечать следующим требованиям:

- 1) Растекаемость вначале нагнетания 26-28 см, а в конце – 15-16 см.
- 2) Иметь сроки схватывания для обводненных тоннелей 40-60 мин, а конец – 2-4 часа после затворения; для необводненных начало – 3-4 часа, окончание – 6-8 часов;
- 3) Размываемость грунтовой водой не более 0,5% при скорости течения ее 10 м/с.

Контрольное нагнетание для железобетонных блочных обделок выполняют через шпур, пробуренные в местах пересечения кольцевых и радиальных швов. Шпур бурят до грунта.

Контрольное нагнетание выполняют растворонасосами механического действия.

Раствор приготавливают на месте производства работ.

Нагнетание производят по обе стороны от оси тоннеля снизу вверх симметрично.

Прекращают нагнетание в каждый шпур тогда, когда по манометру будет зафиксировано резкое увеличение давления подачи раствора.

Контрольное нагнетание для железобетонных сборных обделок выполняют после чеканки швов.

Для проверки качества контрольного нагнетания бурят контрольные шпур с забуриванием их до грунта, в которые подают цементный раствор под давлением, равным рабочему. Если поглощение раствора не происходит, что будет сопровождаться резким увеличением показателей манометра, то контрольное нагнетание выполнено удовлетворительно.

6.5. Гидроизоляция обделки

Тоннельные обделки, расположенные ниже уровня земли должны иметь надежную гидроизоляцию. Грунтовые или случайные воды могут проникать в тоннель через:

- 1) Швы между сборными элементами;
- 2) Отверстия соединений или связей;
- 3) Отверстия в сегментах, предназначенные для нагнетания раствора за обделку;
- 4) Сами элементы обделки.

Герметичность блочной железобетонной обделки состоит из герметизации стыков между элементами (чеканочные работы), герметизации отверстий для нагнетания, болтовых креплений. К гидроизоляционным работам обделок традиционной технологии относят контрольное нагнетание за обделку.

При традиционной технологии строительства тоннеля гидроизоляционные работы выполняют на расстоянии не менее 30 м от щита. На таком удалении от щита обделка уже не испытывает напряжения от действия щитовых домкратов, потому что усилие от щитовых домкратов на таком расстоянии воспринимаются силами трения между грунтом и наружной поверхностью обделки, плотно прилегающей к грунту после первичного нагнетания.

Состав и последовательность работ при гидроизоляции:

- чеканочные работы;
- контрольное нагнетание за обделку;
- уплотнение отверстий для нагнетания.

Чеканочные работы в случае блочных обделок заключаются в том, что составом БУС или ВРЦ с помощью чеканочного молотка производят заполнение канавок слоями и уплотнение слоев набором чеканочных

наконечников. Однако, при уплотнении этих составов чеканочным молотком возможен скол бетона в стенках канавок, что может приводить к расстройству уплотняющего материала. Поэтому, в последнее время при уплотнении швов между блоками обделок применяют составы «Монофлекс А» и «Монофлекс Е».

«Монофлекс Е» - представляет собой твердеющую мастичную пасту, состоящую из олигомера, микронаполнителя и пластификатора с введением специального компонента. После чего состав превращается в резиноподобное вещество высокой пластичности. Является абсолютно водонепроницаемыми и имеет высокую адгезию к бетонам и металлическим поверхностям.

«Монофлекс А» - сухая смесь безусадочного ПЦ, заполнители в виде мытого промышленного песка с модулем крупности $K_M=2,1-3$ в соотношении Ц/П=1/3, супер пластификатора СП-10-03 в количестве 0,6% от массы цемента и добавки алюмината натрия. Соотношение вода/смесь=0,17-0,19.

При чеканке швов поверхность канавки сначала покрывают тонким слоем состава Е с помощью кисти, а затем саму канавку заполняют составом А с помощью агрегата «Гидротон», подающего этот состав под действием сжатого воздуха.