СССР
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора института
Г. Д. ХАСХАЧИХ
3 февраля 1988 г.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ОПЕРЕЖАЮЩИХ ЭКРАНОВ ИЗ ТРУБ ПРИ СООРУЖЕНИИ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Согласованы Главтоннельметростроем и Главтранспроектом

Москва 1988

gost.e-ecolog.ru

УДК 624.195.22 (083.75)

© Всесоюзный ордена Октябрьской Революции
научно-исследовательский институт
транспортного строительства, 1988

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Рекомендации разработаны в дополнение СНиП II-44-78 "Тоннели железнодорожные и автодорожные" и СНиП III-44-77 "Тоннели железнодорожные, автодорожные и гидротехнические" на основе комплекса теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в отделении тоннелей и метрополитенов ЦНИИСа и кафедрой мостов и тоннелей МАДИ, а также результатов анализа опыта применения экранов из труб в сложных горно-геологических условиях на строительстве тоннелей БАМа и Севанского автодорожного тоннеля.

В Рекомендациях рассмотрена методика расчета опережающих экранов из труб.

Рекомендации разработаны кандидатами техн.наук В.Е.Меркиным, Д.И.Колиным, К.П.Безродным, В.Ф.Сарабеевым (ЦНИИС), С.П.Власовым (Главтоннельметрострой), Л.В.Маковским (МАДИ), инженерами В.А.Бессоловым, Р.И.Касаповым (Бамтоннельстрой), А.Б.Хавиным (Бамтоннельпроект), Ю.Ф.Симоновым (СКТБ Главтоннельметростроя), С.В.Чеботаревым (МАДИ).

Замечания просим направлять по адресу: 129329, Москва, ул. Кольская, д.1, ЦНИИС.

Зав.отделением
тоннелей и метрополитенов В.Е.Меркин

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящие Рекомендации предназначены для использования в проектных и строительных организациях Министерства транспортного строительства при выборе конструкции и расчете параметров опорожащего экрана из труб, а также при составлении проекта производства работ по устройству защитного экрана, проходке под его прикрытием тоннельной выработки и возведению обделки тоннеля.

Применение Рекомендаций должно способствовать обоснованному выбору параметров конструкции временной крепи и технологии производства тоннелепроходческих работ, повышению качества и надежности защитного экрана и безопасности ведения работ под его защитой.

I.2. В Рекомендациях приведена методика расчета опережающих экранов из труб, учитывающая взаимное влияние элементов защитного экрана, деформативность грунта призабойной зоны, технологическую последовательность разработки забоя.

I.3. Рекомендации могут быть распространены на различные виды временной и постоянной крепи тоннельных выработок, которые используются в сочетании с защитными экранами из труб.

I.4. В Рекомендациях в основном использованы определения и условные обозначения, принятые в нормативной литературе по тоннелестроению.

2. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРЕЖАЮЩИХ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ИЗ ТРУБ

2.I. Технология строительства тоннелей под защитой экранов из труб основана на использовании принципа опережающего крепления. До начала проходки по контуру будущего тоннеля создают защитную крепь (экран), под прикрытием которой осуществляют раскрытие выработки и возведение постоянной несущей конструкции тоннеля.

В зависимости от геологических условий и в случае необходимости через трубы экрана может быть проведена укрепительная цементация грунтового массива.

2.2. Использование опережающих защитных экранов позволяет избежать вывалов и обрушений грунта внутрь выработки в процессе

проходки, стабилизировать окружающий выработку грунтовый массив значительно снизить его деформации и нарушения.

2.3. Защитные экраны могут быть использованы при строительстве транспортных тоннелей горным и щитовым способами.

Применение их целесообразно при проходке:

тоннелей глубокого заложения и их участков в неустойчивых, слабоустойчивых грунтах, характеризующихся коэффициентом крепости по М.М.Протодьяконову $f < 2$, а также в сильнотрещиноватых грунтах средней устойчивости в том числе при проходке зон тектонических разломов и сбросов;

портальных участков (врезок) тоннелей, когда склоны сложены сильнотрещиноватыми или оползнеопасными грунтами;

тоннелей под путями железных дорог, автомагистралями, крупными инженерными сооружениями.

3. КОНСТРУКЦИИ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ИЗ ТРУБ

3.1. Защитный экран состоит из труб и поддерживающих элементов.

3.2. Для создания защитных экранов используют преимущественно стальные трубы диаметром 95–500 мм (ГОСТ 10704-76, ГОСТ 8732-78), полые или заполненные бетоном или цементным раствором.

Труба требуемой длины составляется из отдельных звеньев длиной 1,5–6,0 м, соединяемых между собой сваркой или свинчиванием. Смежные трубы могут объединяться при помощи замковых устройств и направляющих.

3.3. Трубы защитного экрана размещают с зазором одна относительно другой или вплотную. При наличии значительного горного давления возможно создание защитного экрана из нескольких рядов труб.

3.4. Для закрепления крупнопористых или сильнотрещиноватых грунтов используют перфорированные трубы и, нагнетая в них цементный раствор, создают в грунте несущую трубоцементно-грунтовую оболочку.

3.5. Трубы защитного экрана размещают по своду и стенам выработки, а в исключительных случаях – по всему контуру, включая лотковую часть.

3.6. В качестве поддерживающих элементов используют:

стальные арки;

анкеры в сочетании с поперечными подхватами;

стальные арки в сочетании с анкерами;

арки, омоноличенные бетоном;

арочно- или анкеронабрызг-бетонную крепь;

монолитную бетонную или железобетонную обделку;

сборную железобетонную или чугунную обделку (при щитовом способе).

3.7. Параметры элементов защитного экрана (диаметр и толщина стенок труб, величина зазора между трубами, номер профиля и шаг поддерживающих элементов) определяются расчетом.

4. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА

4.1. Для определения параметров защитного экрана, если в грунте вокруг выработки не образуется зона неупругих деформаций (нарушенная зона или свод обрушения), рекомендуется использовать методику расчета, учитывающую совместное деформирование элементов системы "крепь - грунт". Эта методика реализована программой "Труба" на языке Фортран для ЭВМ серии ЕС.

4.2. При образовании в грунтовом массиве зоны неупругих деформаций защитный экран из труб рассчитывают на заданные нагрузки от веса грунта нарушенной зоны в соответствии с Методическими рекомендациями[1]. При этом следует использовать методику расчета, основанную на анализе работы элементов защитного экрана по отдельности с учетом их взаимного влияния друг на друга.

4.3. Статическая схема расчета поддерживающего элемента представлена на рис.I.

Величины усилий, воспринимаемых защитным экраном, определяются опытным путем или в предположении сводообразования в безопорной зоне (в соответствии со СНиП П-44-78) и действия составляющих бытового давления в зоне упругого отпора.

Для учета деформаций поддерживающих элементов вводится коэффициент упругой податливости опирания труб

$$\delta_{тр,i} = \frac{\Delta_{n,i}}{P_i} , \qquad (I)$$

I Методические рекомендации по расчету временной крепи тоннельных выработок". М., ЦНИИС, 1984.

где $\Delta_{n,i}$ и P_i – соответственно смещение поддерживающего элемента и сосредоточенное усилие в месте опирания i-й трубы на поддерживающий элемент.

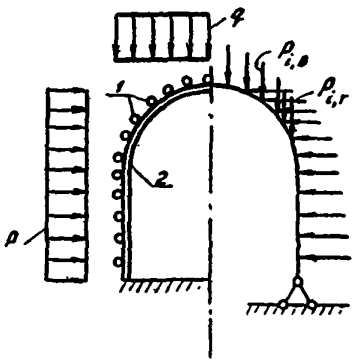


Рис.I. Статическая схема расчета поддерживающего элемента:
1 – стальная труба;
2 – поддерживающий элемент;
q и p – интенсивности распределенного вертикального и бокового давления грунта;
$P_{i,в}$ и $P_{i,г}$ – вертикальная и боковая составляющие сосредоточенного усилия, воспринимаемого i-й трубой

В процессе конструирования вначале следует определять величину коэффициента упругой податливости опирания труб для расстояния между осями труб I и ($\delta_{1,0}$), тогда для любого шага труб

$$\delta_a = \frac{\delta_{1,0}}{a}, \qquad (2)$$

где $a = \frac{a' + a''}{2}$ – расчетное расстояние между осями труб;
a', a'' – расстояния между осями рассматриваемой трубы и смежных труб слева и справа от рассматриваемой.

Для составных поддерживающих элементов (сквоенных или строенных арок)

$$\delta^{(m;a)} = \frac{\delta^{(1;1,0)}}{m \cdot \bar{a}}, \qquad (3)$$

где $\delta^{(m;a)}$ и $\delta^{(1;1,0)}$ – коэффициенты для поддерживающего элемента, состоящего соответственно из m и одного элемента определенного сечения.

При опирании поддерживающего элемента на грунт должна быть учтена деформация грунта под пятами поддерживающего элемента

$$\delta_{гр,i} = \frac{\Delta_{п,i}}{P_i}, \qquad (4)$$

где $\delta_{гр,i}$ – коэффициент упругой податливости опирания поддерживающего элемента на грунт для i -й трубы экрана;

$\Delta_{п,i}$ – перемещение пяты поддерживающего элемента в направлении, параллельном перемещению i -й трубы экрана.

При определении податливости опирания труб на стальные арки должны быть учтены деформации подклинивающих прокладок, устанавливаемых между трубами и арками:

$$\delta_п = \frac{h_п}{E_п F_п}, \qquad (5)$$

где $\delta_п$ – коэффициент упругой податливости опирания трубы на подклинивающую прокладку;

$h_п$ – начальная высота прокладки;

$E_п$ – модуль деформации материала прокладки;

$F_п$ – площадь контакта прокладки и трубы

Суммарная величина коэффициента упругой податливости опирания трубы на поддерживающий элемент определяется выражением

$$\delta_{оп} = \delta_i + \delta_{гр,i} + \delta_п \qquad (6)$$

4.4. При использовании в качестве поддерживающих элементов анкеров в сочетании с поперечными подхватами коэффициент упругой податливости опирания трубы определяется следующим образом:

$$\delta = \delta_т + \delta_{пол}; \qquad (7)$$

$$\delta_т = \frac{\ell_т}{E_т F_т} n = \delta'_т n; \qquad (8)$$

$$\delta_{пол} = \frac{5}{384} \frac{a_a^3}{(EJ)_{пол}} \cdot n = \delta'_{пол} n; \qquad (9).$$

$$\delta = \left(\frac{\ell_т}{E_т F_т} + \frac{5\, a_a^3}{384 (E\,J)_{пол}}\right) n = (\delta'_т + \delta'_{пол})\, n, \quad (10)$$

где $\delta_т$ и $\delta_{пол}$ – коэффициенты упругой податливости опирания трубы на тяж анкера и поперечный подхват;

$\ell_т$ – длина тяжа анкера;

$E_т$ – модуль упругости материала тяжа анкера;

$F_т$ – площадь поперечного сечения тяжа анкера;

n – количество труб в пролете поперечного подхвата;

a_a – поперечный шаг анкера;

$(E\,J)_{пол}$ – жесткость подхвата.

На рис. 2 и 3 представлены графики для определения $\delta'_т$ и $\delta'_{пол}$.

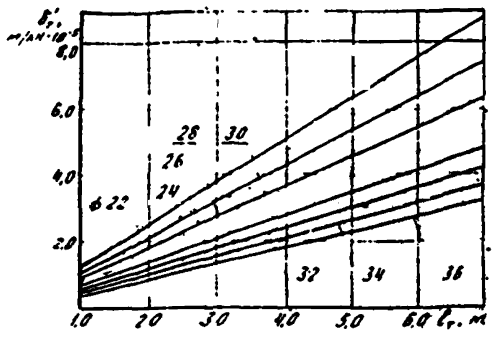


Рис.2. График для определения коэффициента упругой податливости тяжа

4.5. В призабойном грунтовом массиве в общем случае могут быть выделены три характерные зоны (рис.4):

Границы между I и II зонами следует определять по уравнению (II), а между II и III зонами – по уравнению (I2). При ориентировочном расчете, когда глубина заложения тоннеля превышает I,0 м, для определения границы между II и III зонами можно воспользоваться уравнением I3).

$$C + \gamma h_i \left(\cos^2\alpha_i \operatorname{tg}\varphi - \frac{1}{2}\sin 2\alpha_i\right) = 0; \quad (11)$$

$$C + (\gamma h_i + R_i)\left\{\cos^2\alpha_i \operatorname{tg}\varphi + \sin\alpha_i \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_н/2) \times \left[\frac{\operatorname{arc\,tg}(\ell_{т.п}/h_i)}{\pi/2 - \varphi}(\cos\alpha_i + \sin\alpha_i \operatorname{tg}\varphi) - 1\right]\right\} = 0; \quad (12)$$

$$\cos^2\alpha_i \operatorname{tg}\varphi - \sin\alpha_i \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi_к/2) = 0, \qquad (13)$$

где C - удельное сцепление грунта;

γ - удельный вес грунта;

$\varphi, \varphi_к$ - действительный и кажущийся углы внутреннего трения грунта;

α_i - угол наклона рассматриваемой площадки к горизонтали;

h_i - вертикальное расстояние от рассматриваемой площадки до верха выработки;

$\ell_{i,II}$ - горизонтальное расстояние от верха границы между I и II зонами до рассматриваемой площадки;

R_i - реакция, передаваемая трубами защитного экрана на грунт над i -й площадкой.

Уравнения решают относительно неизвестного угла α_i . Определение границ между зонами ведут поэтапно, снизу вверх, путем определения углов наклона площадок сдвига, имеющих длину 1 м.

В случае, если в уравнении (12) величина $arc\,tg(\ell_{i,II}/h_i) \geq (\pi/2-\varphi)$, вместо выражения $\frac{arc\,tg(\ell_{i,II}/h_i)}{\pi/2-\varphi}$ следует подставлять 1.

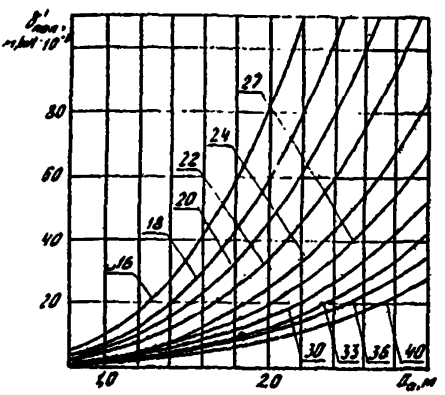


Рис.3. График для определения коэффициента упругой податливости поперечного подхвата в случае расположения в его пролете одной трубы

4.6. Выбор статической схемы расчета трубы экрана следует производить в зависимости от технологической последовательности разработки забоя, а также от характера:

опирания трубы на поддерживающий элемент;

опирания трубы на грунт;

распределения горного давления.

4.7. Схемы опирания трубы на поддерживающий элемент представлены на рис.5.

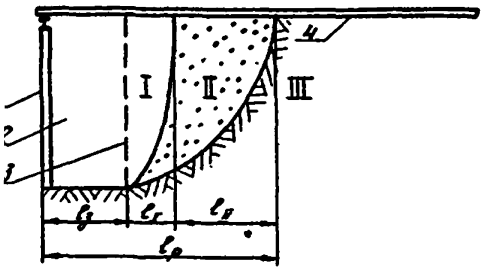


Рис.4. Характерные зоны деформации грунта у забоя:
I – грунт, обрушившийся внутрь выработки; II – грунт, отделяющийся от ненарушенного массива и перемещающийся при прогибах труб экрана внутрь выработки; III – ненарушенный грунт, на который влияние забоя не распространяется; 1 – поддерживающий элемент; 2 – выработка; 3 – положение поверхности лба забоя до обрушения; $\ell_р$ – рабочий пролет трубы; $\ell_з$ – длина заходка; $\ell_г$ – длина зоны грунта, обрушающегося внутрь выработки; $\ell_д$ – длина зоны грунта, отделяющегося от ненарушенного массива

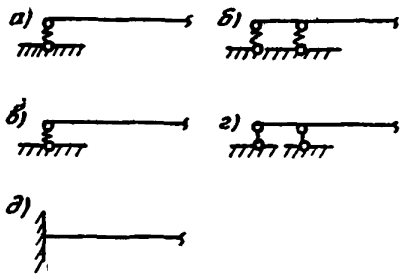


Рис.5. Варианты схем опирания трубы на поддерживающие элементы (элементы расчетной схемы):
а – при точечном опирании трубы на арку, анкер при предположенном учете опирания на бетонную (железобетонную) обделку или обетонированные арки:
б – при более точном учете опирания трубы на бетонную (железобетонную) обделку или обетонированные арки распределенного на участке определенной длины; в, г – аналогично а и б при отсутствии податливости поддерживающего элемента; д – если конец трубы заделан в крепком скальном грунте

4.8. Характер опирания трубы на грунт учитывают по схемам, приведенным на рис.6.

Длина, обеспечивающая заделку конца трубы в крепком скальном грунте, колеблется от 4–6 диаметров трубы (если обсадная труба используется в качестве трубы защитного экрана) до 2–3 м (если в скважину устанавливается труба меньшего диаметра, а обсадная труба извлекается).

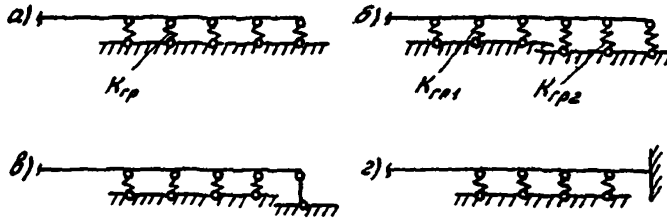


Рис.6. Варианты схем опирания трубы на грунт (элементы расчетной схемы):
а - при опирании на однородный грунт; б - при опирании на неоднородный грунт; в - если конец трубы забурен в крепкий скальный грунт на длину, не обеспечивающую заделку трубы; г - если конец трубы забурен в крепкий скальный грунт на длину, обеспечивающую заделку трубы; $K_{гр}$ - коэффициент упругого отпора грунта; $K_{гр1}$ и $K_{гр2}$ - то же для различных (первого и второго) типов грунтов, встречающихся по длине трубы

Коэффициент упругой податливости опирания трубы на упругие опоры, моделирующие грунт ненарушенной зоны, определяется по формуле

$$\delta_{ш} = \frac{R_{скв}}{K_{отп} \cdot S_{оп} R_{в}}, \qquad (14)$$

где $R_{скв}$ - радиус скважины, создаваемой при забуривании трубы;
$K_{отп}$ - коэффициент упругого отпора грунта в выработке;
$R_{в}$ - радиус выработки;
$S_{оп}$ - площадь опирания трубы на грунт (площадка, заменяемая упругой опорой),

$$S_{оп} = d_{тр} \cdot \ell_{оп}.$$

Здесь $d_{тр}$ - диаметр трубы экрана;
$\ell_{оп}$ - расстояние между соседними упругими опорами.

Значения величин удельного коэффициента упругого отпора для некоторых грунтов приведены в табл.1 справочного приложения 1.

4.9. При выборе статической схемы трубы в качестве расчетного следует принимать положение, при котором пройдена одна заходка и защитный экран опирается на первый поддерживающий элемент. Балка в рабочем пролете загружается равномерно распределенной нагрузкой, определенной на основании опытных данных (рис.7,а), или в предположении сводообразования (рис.7,б).

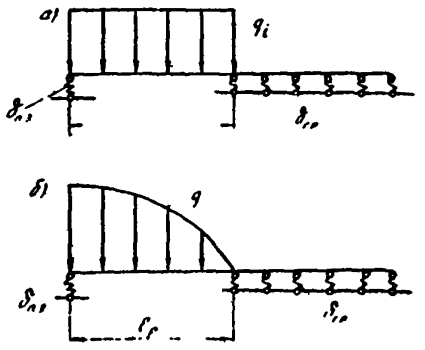


Рис.7. Статическая схема расчета трубы защитного экрана:
а – по опытным данным; б – в предположении сводообразования; $\delta_{п.э}$ и $\delta_{гр}$ – коэффициенты упругой податливости опирания трубы на упругие опоры, моделирующие соответственно поддерживающий элемент и ненарушенный грунт; $\ell_р$ – длина рабочего пролета трубы; q_i – интенсивность усилий, воспринимаемых трубой в i-м сечении

Подбор сечения полых стальных труб осуществляется по формуле

$$\frac{M}{W_{ст}} \leq KR, \qquad (15)$$

где M – максимальный изгибающий момент в трубе;
$W_{ст}$ – момент сопротивления поперечного сечения трубы;
R – расчетное сопротивление стали растяжению;
K – коэффициент надежности.

Несущую способность по моменту стальной трубы, заполненной бетоном, следует определять

$$M_{max} = \frac{d}{2(1+\cos\alpha^{\circ})}(\alpha_u R_м A_м + \beta_u R_{пр} A_б \omega_2), \qquad (16)$$

где M_{max} – максимальный момент, который может воспринять труба;
d – внутренний диаметр трубы;
$A_м, A_б$ – соответственно площадь поперечного сечения полой стальной трубы и бетона заполнения;
$R_м$ – расчетное сопротивление стали растяжению;
$R_{пр}$ – призменная прочность бетона;
α_u – коэффициент эффективности для стали (принимается по табл.2 справочного приложения I);

β_u = 1,15 – коэффициент эффективности для бетона;

α – угол, ограничивающий сжатую зону (принимается по графику, представленному на рис.8);

$$\omega_2 = \frac{\sin^3\alpha'}{3} + \frac{\pi - \alpha}{8} + \frac{\sin 4\alpha'}{32} \qquad (17)$$

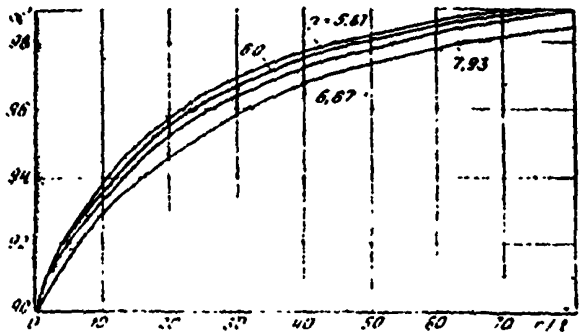


Рис.8. График для определения угла α
(n – коэффициент приведения E_{cr}/E_B)

В табл.3 справочного приложения 1 приведены значения максимальных изгибающих моментов, которые могут быть восприняты полимя и заполненными бетоном трубами диаметром 102–377 мм с толщиной стенок 6–20 мм и заполнением бетоном В22,5 (М300).

4.10. Рассчитывать поддерживающий элемент в виде стальной арки следует, решая уравнение (16) относительно величин F_i и $w_i^{пл}$ (в случае назначения длины заходки и подбора соответствующего поддерживающего элемента) или относительно величины q_i (в случае назначения поддерживающего элемента и определения соответствующего максимального пролета)

$$\left(\frac{N_i}{F_i}\frac{q_i}{R_a}\right)^{3/2} + \frac{M_i q_i}{w_i^{пл} R_a} = 1, \qquad (16)$$

F_i – площадь i -го сечения арки;

$W_i^{пл}$ – пластический момент сопротивления i -го сечения арки, для двутавра $W_i = 1{,}12\, W_i$ (W_i - упругий момент сопротивления);

i . M_i – продольная сила и изгибающий момент в i -м сечений арки от единичной нагрузки;

q_i – интенсивность нагрузки;

R_a – предел прочности материала арки.

4.11. Расчет поддерживающего элемента, представленного армомонолитной бетоном, следует производить в соответствии СНиП 2.03.01-84 ("Бетонные и железобетонные конструкции") как центренно сжатого элемента.

4.12. Пример расчета параметров конструкции защитного экрана труб при строительстве автодорожного тоннеля приведен в рекомендуемом приложении 2.

5. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО СООРУЖЕНИЮ ОПОРУЖАЮЩИХ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ИЗ ТРУБ

5.1. Процесс строительства тоннеля под защитой экрана из б включает следующие основные этапы:

а) подготовительные работы;

б) бурение скважин и установка в них труб;

в) нагнетание в полости труб цементного раствора (бетонной ьси);

г) разработка грунтового ядра и установка поддерживающих ментов;

д). возведение обделки тоннеля.

На первом этапе производится подготовка ооустройство рабо-й зоны, размещение и приведение в рабочее положение буровой тановки; при необходимости выполняется крепление лба забоя.

5.2. При строительстве портального участка тоннеля трубы рана устанавливают из предпортальной выемки (рис.9,а). В случае пользования защитных экранов на подземных участках тоннеля тановку труб производят из забоя (рис.9,б).

5.3. Если длина зоны нарушенных грунтов (разлома) не превышает 40 м экран страивают на всю длину этой зоны с заходом в нарушенный массив как минимум на 2 м. При этом бурение скважин лжно производиться из предварительно созданной камеры. Ориента-

ровочно длина камеры составляет 8-12 м, ширина и высота камеры должны превышать ширину и высоту выработки тоннеля соответственно на 1,6-3,0 и 0,8-1,5 м, обеспечивая возможность ведения буровых работ за предполагаемым контуром выработки.

5.4. Скважины забуривают по контуру выработки с зазором между наружным контуром обделки тоннеля и осями труб. Величину зазора определяют как сумму возможного отклонения трубы от проектного положения при забуривании и величины накапливающегося по мере проходки выработки прогиба трубы. Минимальная величина зазора составляет 30-50 см.

5.5. Если длина зоны нарушенных грунтов превышает 40 м, защитный экран устраивают из отдельных перекрывающихся секций длиной 9-30 м (рис.10). При этом трубы забуривают непосредственно из тоннельной выработки с наклоном 1,5-12° относительно оси тоннеля. Если стены выработки параллельны, трубы образуют веерную крепь конической формы, при наклонных стенах трубы могут располагаться параллельно друг другу. Угол наклона труб относительно оси тоннеля определяют исходя из того, что забуриваемая труба должна иметь в сечении, из которого ведется забуривание следующей секции экрана, превышение 0,8-1,5 м относительно точки забуривания. Забуривание труб каждой последующей секции следует начинать после осуществления проходки под предыдущей секцией на длину, меньшую на 1-4 м длины секции и крепления лба забоя. Величина перекрытия секций должна превышать длину зоны нарушенного грунта призабойного грунтового массива.

5.6. При щитовом способе ведения работ возможны две схемы создания защитного экрана:

1) с устройством его непосредственно из щита, при этом буровое оборудование размещают внутри щита и скважины забуривают с наклоном к оси тоннеля (рис.11,а);

2) с разборкой необходимого количества колец обделки за щитом, с устройством камеры за щитом для забуривания труб из камеры снаружи щита и тоннеля параллельно его оси (рис.11,б).

Первая схема предпочтительнее при преодолении зон слабоустойчивых грунтов длиной более 40, вторая - менее 40 м.

5.7. Для установки труб в грунтовый массив следует использовать станки, позволяющие разбурить скважины во всем диапазоне ожидаемых грунтов. Наименования и некоторые характеристики таких буровых станков приведены в справочном приложении 3.

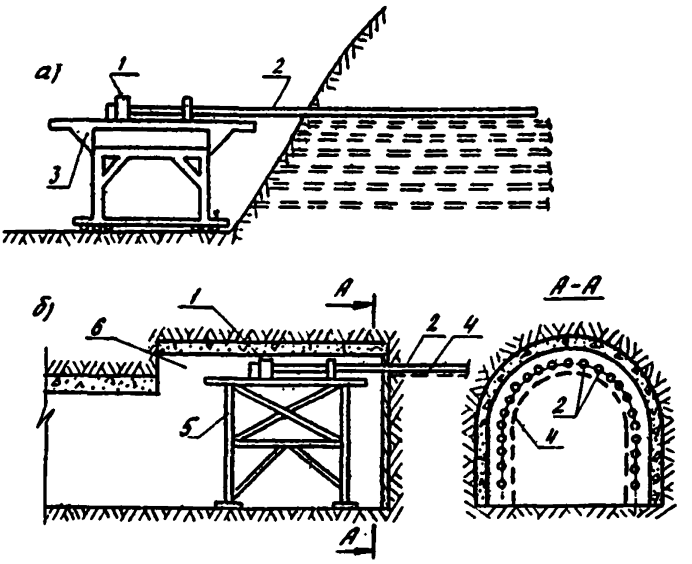


Рис.9. Устройство защитного экрана:
а – с поверхности; б – из подземной камеры; I – буровая установка; 2 – трубы защитного экрана; 3 – буровая рама; 4 – контур выработки; 5 – подмости; 6 – камера

При производстве буровых работ должна быть обеспечена возможность перемещения бурового станка по всему контуру выработки, для чего его можно устанавливать на шпальную клетку буровую раму или подмости. При проходке выработки ступенчатым забоем буровой станок размещают последовательно на каждой ступени (рис.I2)

5.8. После установки труб защитного экрана в грунтовый массив следует произвести заполнение их полостей цементным раствором или бетонной смесью.

При использовании перфорированных труб до начала нагнетания рекомендуется покрывать обнаженный забой выработки слоем монолитного или набрызг-бетона толщиной 8–I0 см.

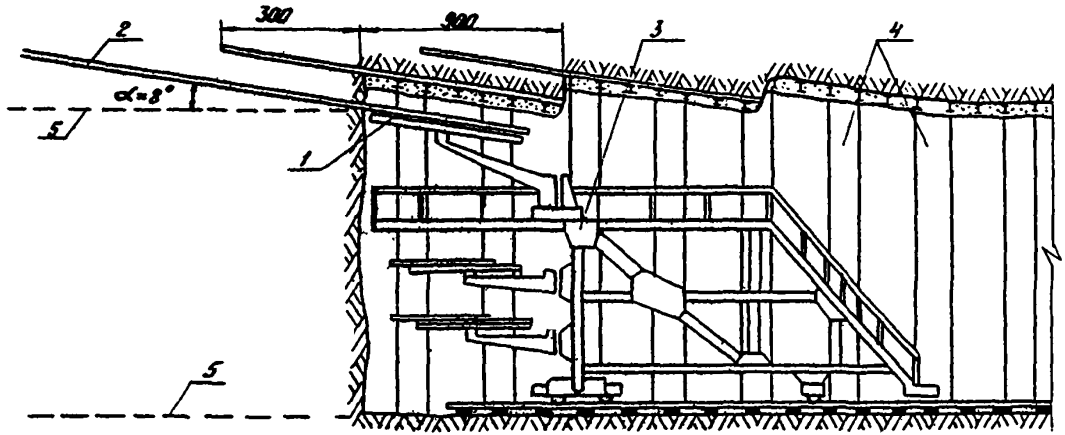


Рис.10. Устройство наклонных перекрывающихся экранов из труб:
1 - буровой станок; 2 - трубы защитного экрана; 3 - буровая рама; 4 - арочно-бетонная крепь; 5 - контур выработки

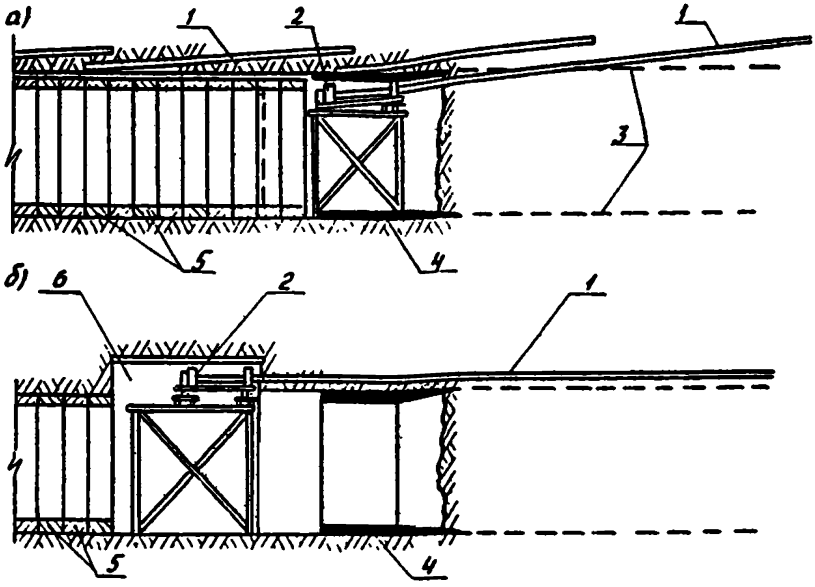


Рис.II. Схемы устройства защитного экрана при щитовой проходке выработки:
а - с устройством экрана непосредственно из щита; б - с забуриванием труб из камеры вне щита; I - трубы защитного экрана; 2 - буровой станок; 3 - контур будущей выработки; 4 - проходческий щит; 5 - кольца тоннельной обделки; 6 - камера

В случае бурения скважин с обсадной трубой с последующей заменой ее на рабочую трубу нагнетание предпочтительное производить параллельно с процессом извлечения обсадной трубы в несколько этапов с шагом извлечения трубы I-2 м. При этом должна быть обеспечена надежная пробка, закрывающая зазор между обсадной и рабочей трубами.

Цементный раствор подают в трубы под давлением 300-3000 кПа. Его водоцементное отношение должно составлять I:I - I:2. Для повышения подвижности раствора в смесь можно добавлять 5-I0 % бентонита. С целью сокращения сроков строительства возможно использование цементной смеси, содержащей ускорители твердения. Цементация ведется до появления раствора в соседней скважине или до отказа. Работы по нагнетанию считаются законченными, если раствор не поглощается в течение I0-I5 мин при постоянном давлении.

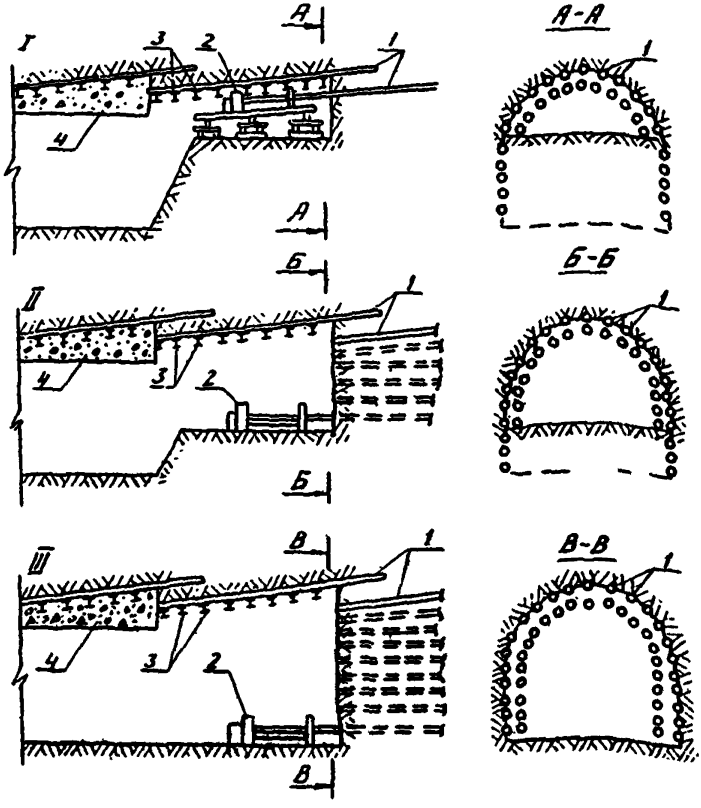


Рис.I2. Технология, предусматривающая установку в грунт труб защитного экрана в несколько этапов:
I - трубы защитного экрана, 2 - буровой станок; 3 - поддерживающие элементы; 4 - обделка тоннеля

5.9. Разработка грунта под защитой экрана из труб начинается после набора цементом заполнения достаточной прочности и может производиться по одной из следующих схем, представленных на рис.I3.

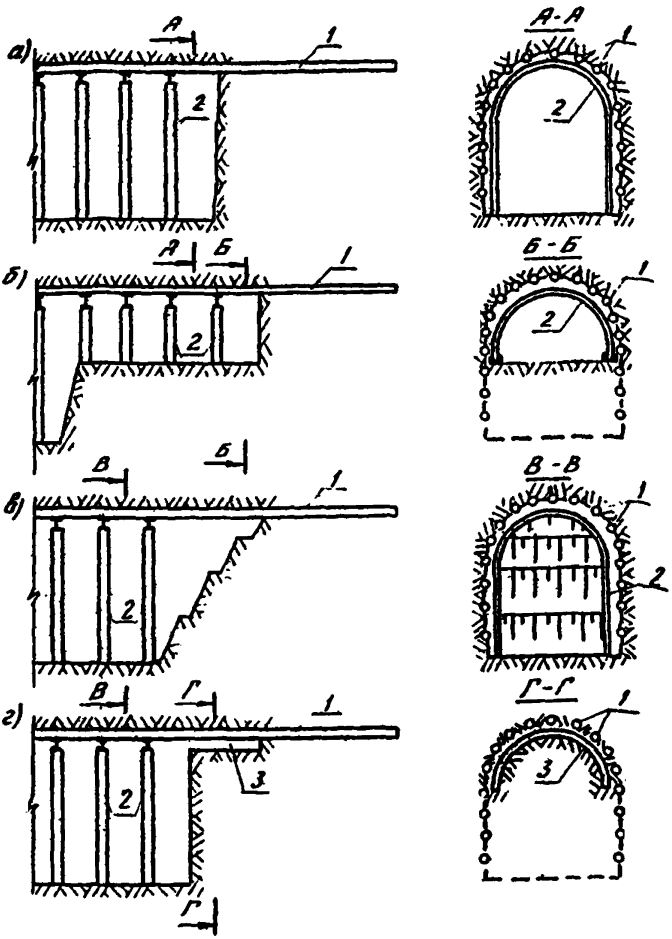


Рис.13. Схемы разработки грунта под защитой экрана из труб: а - на полный профиль; б - ступенчатым забоем; в - минимальными уступами; г - с предварительной контурной подрезкой грунта в забое; I - трубы защитного экрана; 2 - поддерживающие элементы; 3 - контурная щель

выбор схемы следует производить в зависимости от несущей способности экрана из труб и длины зоны нарушенных грунтов перед забоем на основании анализа уравнений (II) - (I3).

Проходку выработки ведут заходками длиной 0,75-2 м. Длину заходки определяют как разность максимального допустимого рабочего пролета трубы и длины зоны нарушенных грунтов (см.рис.4):

$$\ell_з = \ell_р - \ell_I - \ell_д \qquad (I9)$$

Сразу после проходки выработки на очередную заходку следует производить установку поддерживающего элемента. Для обеспечения надежного опирания труб на поддерживающий элемент необходимо устанавливать подкладки и производить подклинивание всех обнажившихся труб защитного экрана.

Для уменьшения рабочего пролета трубы возможно использовать установку наклонных арок или опережающих анкеров.

В рекомендуемом приложении 4 приводены примеры технологии создания защитного экрана из труб и проходки под его прикрытием тоннельной выработки. В рекомендуемом приложении 5 даны примеры производства работ при сооружении разведочно-транспортно-дренажной штольни.

5.I0. Поддерживающие элементы защитного экрана рекомендуется включать в состав конструкции обделки и учитывать при ее проектировании.

5.II. Расстояние от лба забоя до места возведения обделки следует определять, исходя из несущей способности поддерживающих элементов и характера изменения воспринимаемых ими усилий.

6. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

6.I. Все работы необходимо выполнять в строгом соответствии с "Правилами техники безопасности и производственной санитарии при строительстве тоннелей и метрополитенов", "Едиными правилами техники безопасности в строительстве", "Едиными правилами техники безопасности при взрывных работах".

6.2. Работы с оборудованием и механизмами следует производить в соответствии с их техническими паспортами и правилами по эксплуатации.

6.3. При производстве инъекционных работ между местом инъекции и инъекционным узлом должна действовать надежная двухсторонняя связь.

6.4. Запрещается использовать неисправные насосы, смесители, растворопроводы. При обнаружении неисправностей все работы по инъекции следует немедленно прекратить и снять давление в системе

6.5. Вести ремонтные работы при работающих механизмах и при наличии давления в системе запрещается.

6.6. До начала инъекции после завершения монтажа вся система растворопроводов должна быть испытана под давлением, превышающим рабочее в 1,5 раза с составлением акта испытаний.

6.7. Рабочие, выполняющие инъекционные работы, должны быть обеспечены предохранительными очками с небьющимися стеклами, респираторами и резиновыми перчатками.

6.8. Растворопроводы и шланги должны быть надежно прикреплены к конструкциям хомутами, а в местах нахождения людей иметь защитные кожухи.

6.9. До начала производства работ все рабочие должны пройти технический минимум по безопасности ведения этих работ и обслуживанию применяемых машин и механизмов.

6.10. Необходимо вести тщательный контроль за состоянием крепи выработки и лба забоя в период производства буровых и инъекционных работ.

6.11. При проведении буровых работ запрещается:

касаться вращающихся штанг и погружного пневмоударника;

смазывать или чистить механизм, проводить какой-либо ремонт;

находиться в зоне возможного выброса инструмента и грунтоводяной пульпы из скважины.

6.12. При проведении инъекционных работ запрещается:

использовать шланги имеющие вздутие и неисправные манометры

производить быстрое перекрывание кранов на коммуникациях растворов - краны перекрывать плавно;

применять насосы без предохранительных клапанов;

применять нагнетательные шланги без прочного и надежного закрепления (чтобы исключить возможность их срыва при работе насоса).

6.13. По окончании инъекции все оборудование должно быть тщательно промыто.

Приложение I
Справочное

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ И ТРУБ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ РАСЧЕТЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИЙ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА

Таблица I

Деформационные характеристики грунтов

Типы грунтов	Удельный коэффициент упругого отпора, $K_{отп} \cdot 10^{-4}$, кН/м^3	Модуль деформации, $E_0 \cdot 10^{-4}$ МПа	Коэффициент Пуассона
Граниты	500-900	4-II	0,I8-0,22
Доломиты	350-500	5	0,I5
Кварциты	350-I000	5-I5	0,I2-0,I4
Аргиллиты	40-60	I-4,5	0,I7-0,25
Алевролиты	30-50	I-3	0,2-0,3
Песчаники	80-I00	0,2-0,4	0,I-0,3
Сланцы:			
глинистые	40-60	I-4	0,22
песчаные	30-80	I-3	0,I5-0,4
Известняки	40-80	0,4-0,8	0,27
Глины:			
плотные	I0-20	0,002-0,006	0,3
пластичные	I-4	0,00I-0,004	0,4
Крупнообломочные	5-I0	0,05-0,I	0,27
Песок:			
крупный и средний	3-5	0,00I3	0,3
мелкий пылеватый	I-I,5	0,006-0,0I	0,3

Таблица 2

Значение коэффициента α_u для расчета трубобетонного элемента

t/d	Класс стали труб					
	С 38/23	С 44/29	С 46/33	С 52/40	С 60/45	С 70/60
0,005	I,I6	I,I4	I,I3	I,I0	I,08	I,02
0,0I	I,I4	I,I3	I,I2	I,II	I,09	I,04
0,0I5	I,I3	I,I2	I,II	I,I0	I,09	I,06
0,02	I,I2	I,II	I,I0	I,09	I,09	I,07
0,025	I,I2	I,I0	I,I0	I,08	I,08	I,07
0,03	I,II	I,I0	I,09	I,08	I,07	I,06
0,035	I,II	I,I0	I,09	I,08	I,07	I,06
0,04	I,II	I,I0	I,09	I,07	I,06	I,05
0,045	I,II	I,I0	I,09	I,07	I,06	I,05
0,05	I,II	I,I0	I,09	I,06	I,05	I,05
0,055	I,II	I,I0	I,09	I,06	I,05	I,05

Таблица 3

Максимальные изгибающие моменты, воспринимаемые трубами защитного экрана

Д, мм	Максимальные изгибающие моменты, МН·см; для труб – полых/заполненных бетоном при толщине стенки δ, мм							
	6	8	I0	I2	I4	I6	I8	20
I02	0,68/I,47	0,88/2,26	I,05/2,60	I,2I/2,86	I,35/3,07	I,48/3,23	I,60/3,32	I,70/3,38
I08	0,77/2,I3	0,99/2,59	I,I9/2,99	I,38/3,30	I,54/3,56	I,69/3,76	I,83/3,90	I,95/3,98
I2I	0,98/3,02	I,26/3,37	I,53/3,90	I,77/4,37	I,99/4,75	2,20/5,04	2,39/5,3I	2,56/5,47
I25	I,05/3,26	I,36/3,64	I,64/4,I2	I,90/5,02	2,I5/5,I4	2,37/5,50	2,57/5,79	2,76/6,00
I33	I,20/3,74	I,55/4,2I	I,88/4,88	2,I8/5,45	2,46/5,99	2,73/6,43	2,97/6,76	3,I9/7,07
I40	I,33/4,20	I,72/4,72	2,09/5,5I	2,44/6,I6	2,76/6,80	3,06/7,3I	3,34/7,73	3,60/8,09
I52	I,58/5,07	2,05/6,24	2,50/6,66	2,92/7,50	3,3I/8,3I	3,68/8,94	4,02/9,52	4,34/9,99
I80	2,25/7,45	2,93/9,I8	3,58/9,86	4,20/II,I5	4,78/I2,35	5,34/I3,39	5,87/I4,45	6,37/I5,28
203	2,88/9,80	3,77/I2,07	4,6I/I4,I9	5,42/I4,80	6,20/I6,42	6,94/I7,87	7,64/I9,I8	8,32/20,56
2I9	3,37/II,66	4,4I/I4,32	5,4I/I6,85	6,37/I7,58	7,29/I9,55	8,I7/2I,39	9,02/23,0I	9,83/24,73
245	4,24/I5,I5	5,56/I8,53	6,84/2I,79	8,07/24,86	9,25/25,3I	9,83/27,76	II,50/30,08	I2,56/32,08
273	5,29/I9,34	6,95/23,83	8,56/27,77	I0,I2/3I,79	II,63/35,5I	I3,09/35,6I	I4,50/38,63	I5,87/4I,54
299	6,37/23,88	8,38/29,32	I0,34/34,23	I2,23/39,I4	I4,08/43,6I	I5,87/44,06	I7,6I/47,83	I9,29/5I,56
325	7,55/28,96	9,95/35,47	I2,28/4I,44	I4,55/47,I4	I6,76/52,77	I8,9I/56,25	2I,0I/57,88	23,05/62,33
35I	8,83/34,64	II,64/42,3I	I4,39/49,23	I7,07/56,23	I9,68/62,93	22,23/69,29	24,7I/75,46	27,I4/74,29
377	I0,22/4I,27	I3,48/49,68	I6,67/58,04	I9,78/66,2I	22,83/74,2I	25,8I/8I,53	28,72/8I,05	3I,56/87,76

Приложение 2
Рекомендуемое

ПРИМЕР РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ЭКРАНА ИЗ ТРУБ

Исходные данные

Строительство двухполосного автодорожного тоннеля ведется способом нижнего уступа под защитой экрана из труб.

Глубина заложения выработки 100–120 м. Протяженность зоны разлома 740 м.

Грунты зоны тектонического нарушения – дресвяно-щебенисто-глинистая масса со следующими физико-механическими характеристиками: f = 0,9; C = 50 кПа; φ = 29°; $\varphi_к$ = 42°, $\gamma = \rho g$ = = 1,8·10 = 18 т/(м^2·с^2) = 18 кН/м^3; ρ = 1,8 т/м^3; g = 10 м/с^2.

Диаметр трубы защитного экрана 114 мм, толщина стенки 12 мм. Полости труб заполнены цементным раствором.

В процессе проектирования следует определить:

1) величину воспринимаемого экраном горного давления;

2) статическую схему расчета трубы экрана;

3) коэффициент упругой податливости опирания трубы на поддерживающий элемент;

4) возможные изгибающие моменты в трубах защитного экрана;

5) максимально допустимый изгибающий момент;

6) длину нарушенной зоны грунта перед забоем;

7) допустимое расстояние между осями труб;

8) параметры поддерживающих элементов.

Определение величины воспринимаемого экраном горного давления

Поскольку тоннель сооружается в зоне неустойчивых грунтов, вокруг выработки при ее проходке может образоваться зона неупругих деформаций. Следовательно, экран должен быть рассчитан на нагрузки от веса грунта в пределах свода обрушения, причем нижняя граница свода обрушения совпадает с пятой свода выработки.

В соответствии со СНиП П-44-78:
$q^{н}$ = 270 кПа; $p^{н}$ = 64 кПа; q = 405 кПа; P = 115 кПа.

Выбор статической схемы расчета трубы опережающего экрана

Статическую схему расчета трубы опережающего защитного экрана (см.рис.7,б) принимают в виде балки, опирающейся одним концом на упругоподатливую опору, моделирующую поддерживающий элемент, и другим концом - на систему упругоподатливых опор, моделирующих ненарушенный грунт призабойной зоны; балка загружена распределенной нагрузкой от свода обрушения, правая граница нагрузки совпадает с верхней точкой границы между П и Ш зонами грунта.

Определение коэффициентов упругой податливости опирания трубы на поддерживающий элемент

В качестве возможных поддерживающих элементов рассматривались стальные двутавры I № 27, I № 30, I № 33, I № 36,. I № 40, арочно-бетонная крепь с использованием перечисленных двутавров и толщиной бетона, равной высоте двутавра при шаге двутавров I м, I № 27, омоноличенной бетоном постоянной обделки тоннеля, имеющей переменную толщину, равную в своде 80 см, также при шаге двутавров I м.

Определение внутренних усилий и деформаций поддерживающих элементов под действием нагрузок от свода обрушения производилось на ЭВМ ЕС-1022 по программе *SRTSEC*, основанной на расчете стержневых систем методом конечного элемента[I]. В таблице приведены значения коэффициентов упругой податливости опирания на рассматриваемые поддерживающие элементы при расстоянии между осями труб I м.

Ожидаемое перемещение пяты арки (свода) составляет I см. При таком перемещении

$$\delta^{(I,0)} \approx 4 \cdot 10^{-5} \text{ см/кгс} \approx 4 \cdot 10^{-5} \text{ м/кН}.$$

I Вычисления выполнялись в Московском автодорожном институте (МАДИ).

Значения коэффициентов упругой податливости опирания трубы на поддерживающий элемент

Тип поддерживающего элемента	EJ, кН·м^2	EF, кН	$\delta(I:I,0)$, м/кН
I № 27	I0520	844200	$23,3\cdot10^{-5}$
I № 30	I4870	976500	$20,9\cdot10^{-5}$
I № 33	20660	II29800	$I6,7\cdot10^{-5}$
I № 36	28I00	I299900	$I3,5\cdot10^{-5}$
I № 40	40030	I524600	$I0,5\cdot10^{-5}$
Омоноличенный I № 27	67930	I0294200	$4,3\cdot10^{-5}$
I № 30	93620	II476500	$3,3\cdot10^{-5}$
I № 33	I25480	I2679800	$2,7\cdot10^{-5}$
I № 36	I64I80	I3899900	$2,I\cdot10^{-5}$
I № 40	226700	I5524600	$I,7\cdot10^{-5}$
I № 27 омоноличенный бетоном обделки согласно проекту	I568000	29I25600	$0,4\cdot10^{-5}$

Область наиболее вероятного варьирования величины δ_0 в зависимости от высоты и материала подкладки находится в пределах от $0,5\cdot10^{-5}$ до $30\cdot10^{-5}$ м/кН.

Коэффициент упругой податливости опирания труб на упругие опоры, моделирующие грунт ненарушенной зоны, определялся по формуле (I4).

Определение возможных изгибающих моментов в трубах защитного экрана

Изгибающие моменты в трубах защитного экрана определялись в соответствии с принятой расчетной схемой для рабочих пролетов трубы от 2 до 9 м при различной деформативности поддерживающего элемента. Вычисления проводились по программе *MOPR*, служащей для расчета балок на упругоподатливых опорах[I]

На рис.I представлена номограмма, позволяющая производить приближенное определение значений изгибающих моментов в трубах

[I] Программа *MOPR* разработана на кафедре мостов в МАДИ.

экрана при различных рабочих пролетах и расстояниях между осями труб.

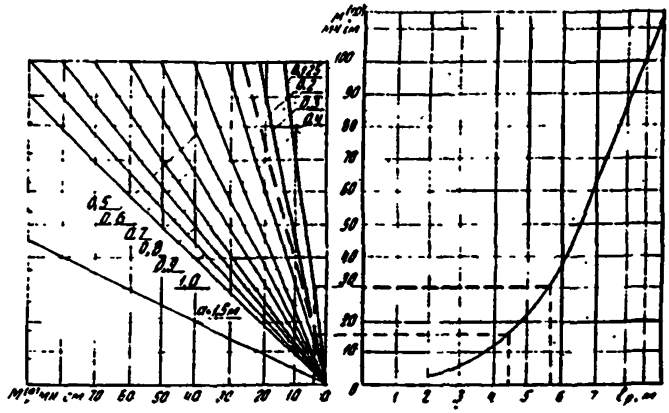


Рис.I. Номограмма для приближенного определения значений изгибающего момента в трубах защитного экрана

График на рис.2 позволяет определить уточненные значения изгибающих моментов в зависимости от коэффициента упругой податливости опирания трубы на поддерживающий элемент при рабочих пролетах от 3 до 5 м.

Определение максимального допустимого изгибающего момента

Значение максимального допустимого изгибающего момента в трубе защитного экрана определяют по формуле (I6). Для стальной трубы диаметром II4 мм с толщиной стенки I2 мм и заполненной бетоном М300 $M^{доп}_{max}$ = 3,8 тс·м = 38 кН·м = 3,8 МН·см.

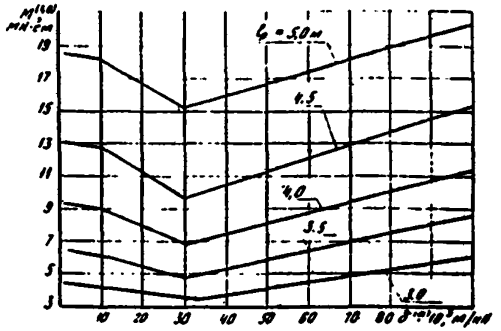


Рис.2. График для определения значений изгибающих моментов в зависимости от коэффициента упругой податливости опирания труб на поддерживающий элемент при рабочем пролете от 3 до 5 м

Определение длины нарушенной зоны грунта перед забоем

Ввиду того, что глубина заложения тоннеля превышает 100 м, определение длины нарушенной зоны грунта может быть произведено по упрощенному уравнению (13)

$\alpha \approx 56^0$; $\ell \approx 3{,}5$ м.

Принимая длину заходки равной 1 м, получаем $\ell_p = 4{,}5$ м.

Определение допустимого расстояния между осями труб

Приближенное определение допустимого расстояния между осями труб производится по номограмме, изображенной на рис. 1 настоящего приложения. Для этого проводим на правом графике перпендикуляр от точки $\ell_p = 4{,}5$ м до пересечения с кривой, затем от точки пересечения проводим горизонталь до пересечения с вертикальной линией, проведенной на левом графике через точку $м^{(a)} = 3{,}8$ тс·м = = 3,8 МН·см. Значения a наклонных прямых левого графика, находящихся справа от полученной точки пересечения, являются допустимыми. Наиболее близкой к точке пересечения является прямая, соответствующая $a = 0{,}25$ м.

Следовательно, $a^{доп}_{max} = 0{,}25$ м.

Определение параметров поддерживающих элементов

Анализ работы поддерживающих элементов, предетавленных стальными арками, производится по уравнению (18). При этом определяют величину максимально допустимого шага поддерживающего элемента с

учетом характера изменения величины действующих усилий в зависимости от расстояния до границы нарушенной зоны грунта. На рис.3 изображен график зависимости максимального шага поддерживающих элементов от величины отставания рассматриваемого участка от рабочего пролета.

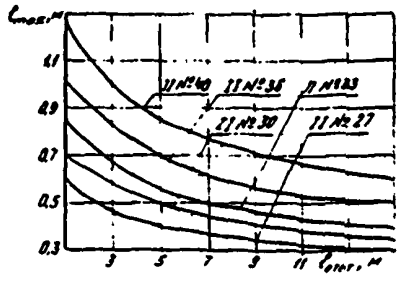


Рис.3. График зависимости максимального шага поддерживающих элементов от величины отставания рассматриваемого участка от рабочего пролета

Поддерживающие элементы, представленные стальной аркой, омоноличенной бетоном, рассчитывают как внецентренно сжатые элементы в соответствии со СНиП 2.03.01-84("Бетонные и железобетонные конструкции"). В условиях строящегося тоннеля могут быть использованы омоноличенные бетоном В22,5 (М300) двутавры № 40, 36, 33 с шагом в 1 м, а также омоноличенные бетоном двутавры № 30 с тем же шагом при отставании от рабочего пролета до 5,5 м и двутавры № 27 при отставании от рабочего пролета до 5 м.

Приложение 3
Справочное

ХАРАКТЕРИСТИКИ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭКРАНОВ ИЗ ТРУБ

Буровая установка	Глубина бурения, м	Максимальный диаметр скважины, мм	Направление к горизонтали, град
УЛБ-130	130 (80)	210	±10
СБА-500	500	141	0-360
УКБ-200-300	300	132	0-360
БСК-2М-100	100	93	0-360
МГБ-2	100	180	0-15
НКР-100м	100	105	0-360
"ТОР-*LS*"	1000	165	0-30
"Тонэ-Боринг" (Япония)	1000	165	0-30
УБС	130	210	0-10

Приложение 4
Рекомендуемое

ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПРИ СООРУЖЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТОННЕЛЯ

I. Бурение скважин без обсадки

Применение данной технологии возможно только в грунтах, стенки скважин в которых не осыпаются.

С технологической тележки, установленной на буровой раме "Фурукава" станком НКР-100 (бурение может вестись центральным молотком с коронкой диаметром 100 мм) бурили скважины диаметром 105 мм и длиной 12 м (см.рис.12). Распорная колонка станка закреплялась между площадками технологической тележки и сводом тоннеля.

В пробуренные скважины устанавливали трубы с перфорацией на горизонтальном диаметре, через которые производили цементацию грунта вокруг скважин. Цементный раствор нагнетали снизу вверх под давлением до 3 МПа растворонагнетателем.

Длина участка тоннеля, проходимого под защитой опережающей крепи, составляла 9 м. Длина заходки не превышала I м. Разработку грунта в забое вели буровзрывным способом и отбойными молотками. После проходки каждой очередной заходки с помощью домкратов технологической тележки устанавливали поддерживающую арку. По аркам снизу вверх набирали опалубку из досок толщиной 40 мм с одновременной укладкой бетона в обе стороны равномерно, слоями по 0,5 м с тщательным вибрированием бетонной смеси.

Ниже приведен перечень основного оборудования и основных объемов работ на устройство экрана из труб двухпутного железнодорожного тоннеля (табл. I-4).

Таблица I

Основное оборудование

№ п/п	Наименование, тип, марка	Количество, шт.	Техническая характеристика	Примечание
I	Буровая рама "Тамрок" или "Фурукава"	I	Расход сжатого воздуха на I $м^3$ породы 0,333 $м^3$/мин	
2	Породопогрузчик "Катерпиллер"	I	$N_{дв}$ = I25 кВт	Снабжен газоочистителем
3	Бульдозер "Катерпиллер"	I	$N_{дв}$ = I25 кВт	То же
4	Породопогрузочная машина ПНБ-3Д	I	$N_{дв}$ = 94 кВт	
5	Автопоезд МОАЗ-6401I	3	$N_{дв}$ = I47 кВт	- " -
6	Автобетоносмеситель СБ-92 (СБ-69)	2	Вместимость барабана 3,5 (2,6) $м^3$	- " -
7	Растворонагнетатель НГР-250/50	I	Давление 5 МПа N = 26 кВт	
8	Перфоратор ПР-30 Л с пневмоподдержкой ПП-I8	4	Расход сжатого воздуха 3,5 $м^3$/мин	
9	Вибратор ИВ-66	4	N = 0,6 кВт	
I0	Станок ПКР-I00 м	2	l = I00 м; $\varnothing$ = I05 мм	
II	Отбойный молоток МО-I0	I5	Расход сжатого воздуха I,I5 $м^3$/мин	

Таблица 2

Основные объемы работ

Работы	Единица измерения	Количество
Устройство опережающей крепи (на I секцию I2 м)		
Бурение скважин Ø I05 мм станком НКР-I00	шт/м	25/300
Установка перфорированных труб Ø 76 мм ℓ = I2 м	шт/кг	25/2I30
Нагнетание цементного раствора состава I:2	$м^3$	I6
Проходка I м тоннеля сечением $F_{ср}$ = I2I,8 $м^2$		
Разработка породы отбойными молотками	$м^3$	I22
Погрузка породы	$м^3$	I22
Установка арок временной крепи	шт/кг	I,0/I240
Устройство опалубки из досок t = 40 мм (разборка)	$м^2$	29,3
Устройство торцовой опалубки из досок t = 40 мм (разборка)	$м^2$	9
Укладка чернового бетона М200	$м^3$	9

Таблица 3

Работы по устройству опережающей крепи длиной 12 м

№ п/п	Источник нормирования ЕНиР	Работы	Единица измерения	Количество	Норма времени на единицу измерения	Норма времени общее	Продолжительность операции, ч	Продолжительность работ сутки
I	ШПР	Бурение скважин Ø 105 мм станком НКР-100	м	300	0,92	276,0	138	6,75
2	§ 36-2-14 № 2	Первичное нагнетание цементного раствора	I $м^3$	I60*	2,6	41,6	42	I,75
3	§ 36-2-106 т.2, "3"	Контрольное нагнетание цементного раствора	I м тоннеля	I2	3,8	45,6	48	7,00
	То же	Вспомогательные работы	–	–	–	–	–	3,50

* Уточняется по факту

Таблица 4

Работы по проходке тоннеля длиной 9 м сечением $F_{ср}$ = I2I,8 $м^2$ под защитой опережающей крепи длиной I2 м

№ п/п	Работы	Единица измерения	Количество	Продолжительность работ, сутки
I	Устройство опережающей крепи[I]	м	I20	7
2	Проходка тоннеля отбойными молотками	$м/м^3$	9/II0	I2

[I] Средняя скорость проходки с опережающей крепью $\frac{9 \times 24.5}{19} \approx$ I2 м/мес

2. Применение технологии, предусматривающей бурение с обсадкой в протяженных зонах слабоустойчивых грунтов

Один или два буровых станка БАМ-2 фирмы "Тонэ-Боринг" размещали на специальных металлических подмостях при отсутствии на буровой раме опережающего козырька (рама фирмы "Тамрок") или на козырьке (рама фирмы "Фурукава"). Под козырек подставляли стойки с опиранием их на подошву выработки. Перед бурением станок устанавливали на металлической раме, размещенной на шпальной клетке. По мере бурения скважин и их обсадки осуществляли поддомкрачивание рамы со станком на необходимый горизонт.

Скважины бурили по периметру свода. После проходки скважины извлекали буровой став с пневмоударником, в обсадную трубу вставляли трубу опережающего экрана и извлекали обсадную трубу.

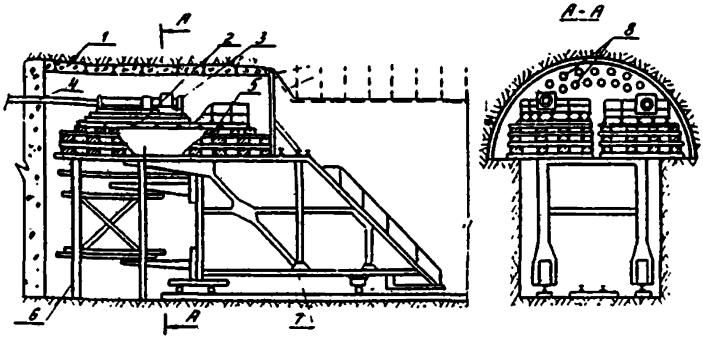
Работы по инъецированию грунта и проходке тоннеля вели в той же последовательности, что и в п.I настоящего приложения.

Набор основного оборудования такой же кроме замены станка НКР-100 на буровой станок фирмы "Тонэ-Боринг"

3. Бурение с обсадкой в зонах тектонических разломов

Не доходя 5 м до зоны разлома, разрабатывали камеру длиной 10-11 м. Бурение скважин начинали из камеры после установки станков на шпальные клетки, расположенные на верхнем козырьке буровой рамы. Скважины бурили сверху вниз двумя станками независимо друг от друга. Вначале бурили верхние центральные скважины одним станком, установленным на обе рамы. По мере бурения скважин и их обсадки рамы поднимали домкратами, а также осуществляли разборку части шпальной клетки и опускание рамы со станком на необходимый горизонт. Для восприятия реактивной силы, возникающей при бурении, в конце камеры устанавливали стойки из пакета двутавров, на которые через распорки передавала давление от рам станков. Скважины забуривали горизонтально (рисунок). Работы по инъецированию грунта и проходке под экраном производили аналогично описанным в п.I настоящего приложения. Разработку забоя вели способом нижнего

уступа. При разработке нижнего уступа арки поддерживали рандбалкой либо предварительно в штольнях под них подводили стены.



Технологическая схема возведения экрана из камеры:
1 - арочно-бетонная крепь; 2 - рама; 3 - буровой станок; 4 - труба защитного экрана; 5 - шпальная клетка; 6 - подпорная рама; 7 - буровая рама; 8 - защитный экран

Набор основного оборудования и основные объемы работ на устройство экрана из труб длиной 25-30 м при строительстве однопутного железнодорожного тоннеля приведены в табл.5 и 6.

Таблица 5

Основное оборудование

Наименование, тип, марка	Количество	Характеристика	Примечание
Буровая рама "Фурукава"	I	Расход сжатого воздуха 40 м³/мин	
Буровой станок БАМ-2	2	Масса 5 т	
Перфоратор ПР-30 Л	2	Расход сжатого воздуха 3,5 м³/мин	
Пневмоподдержка П-I8 ЛА	2	Расход сжатого воздуха 0,I м³/мин	
Перфоратор ПТ-45	2	Расход сжатого воздуха 4 м³/мин	

Продолжение табл. 5

Наименование тип, марка	*Количество*	*Характеристика*	*Примечание*
Лебедка:			
П-10	I	Грузоподъемность 10 т	Для подъема труб
пневматическая	I	Грузоподъемность 2 т	В комплекте с буровой рамой

Таблица 6

Основные объемы работ

Работа	Единица измерения	Количество	Примечание
Бурение скважин под обсадные трубы	м	I950	Длина 30 м Ø I65 мм
Установка обсадных труб	м	I950	65 мм
Установка стоек, опорных балок, укосин	м/кг	650/23700	I № 30
Устройство шпальной клетки	$м^3$	I5	Брус 20х20 см
Устройство настила на рамы под станки	$м^2/м^3$	50/2	Доски t = 40 мм

Приложение 5
Рекомендуемое

ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПРИ СООРУЖЕНИИ РАЗВЕДОЧНО-ТРАНСПОРТНО-ДРЕНАЖНОЙ ШТОЛЬНИ

Сооружение камеры для устройства экрана до разлома

В конце технологической тележки горнопроходческого комплекса (ГПК) устраивали камеру для размещения породопогрузочной машины. В камеру перемещали породопогрузочную машину. Затем отсоединяли технологическую тележку ГПК и оттоняли от щита за пределы камеры с породопогрузочной машиной.

Демонтировали кольца обделки за щитом и разрабатывали камеру для устройства станком БАМ-2 опережающего свода из труб. Разработку грунта вели буровзрывным способом, бурение шпуров - ручными перфораторами, погрузку породы - породопогрузочной машиной ПНБ-3Д в вагоны ВПК-7.

В камере на металлические рамы, расположенные на шпальной клетке, устанавливали два буровых станка БАМ-2. Перемещение их в вертикальной плоскости осуществляли с помощью домкратов, находящихся по углам рам. В поперечном направлении станки перемещали по рамкам с помощью лебедки грузоподъемностью 2 т через блочки, закрепленные в стенах камеры. Сами лебедки крепили на рамах.

Из камеры станками БАМ-2 бурили скважины с установкой в них труб экрана. Экран устраивали вокруг разведочно-транспортно-дренажной штольни и подходкой штольни к ротору, за исключением лотковой части (рис.I). Через трубы в грунтовый массив инъецировали цементный раствор. Под концы труб устанавливали двутавровые арки и омоноличивали их бетоном.

Под прикрытием экрана из труб проходили обходную штольню для расчистки ротора ГПК.

После сооружения штольни на всю длину выставляли унтерцуг из двутавровых балок и разрабатывали проем для очистки ротора. Затяжку кровли производили за скобы, приваренные к трубам опережающего экрана. Затем бетонировали на всю длину правую стенку подходной штольни.

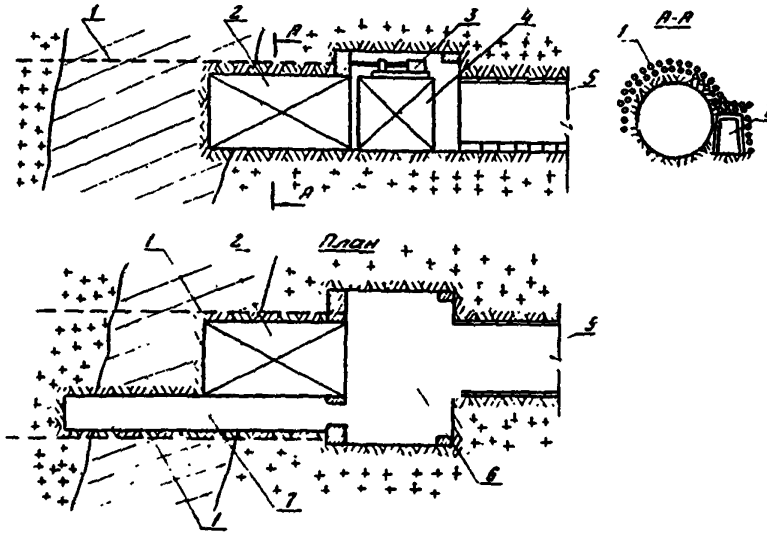


Рис.I. Технологическая схема устройства экрана над проходческим щитом из камеры перед разломом:
I - трубы экрана; 2 - проходческий щит; 3 - буровой станок; 4 - подмости; 5 - выработка тоннеля; 6 - камера; 7 - обходная штольня

На всю длину камеры с закреплением к продольным балкам из старогодных рельсов устанавливали предлотковые блоки. Устанавливали закладные стойки для крепления вторых от лотка блоков. Бетонировали пазухи между блоками и выработкой на высоту первого предлоткового блока. Устанавливали вторые блоки с креплением к закладным деталям и бетонировали пазухи на высоту вторых блоков. Продольные балки раскрепляли монтажными элементами по месту.

Проем входа в штольню раскрепляли рамой из двутавра № 30 и распорками из труб диаметром 325 мм и бетонировали совместно со стенками.

Присоединяли технологические тележки.

В обходной штольне устраивали три перемычки из круглого леса для предотвращения выноса песчаной массы в штольню при раскручивании ротора ГПК, после чего начинали проходку ГПК.

Набор основного оборудования и основные объемы работ на экран из труб длиной 25 м приведены в табл.I и 2.

Таблица I

Перечень основного оборудования

Оборудование	Количество, шт.	Краткая характеристика
Породопогрузочная машина ПНБ-3Д	I	Произв. 60 $м^3$/ч $N_{дв}$ = I36 кВт
Электровоз АМ-8Д	2	$N_{дв}$ = 24 кВт, масса 8 т
Вагон ВПК-7	6	Расход сжатого воздуха 23 $м^3$/мин, вместим. 7 $м^3$
Отбойный молоток МО-I0	6	Расход сжатого воздуха I,25 $м^3$/мин
Перфоратор ПР-30Л	4	Расход сжатого воздуха 3 $м^3$/мин
Пневмоподдержка ППК-I	4	Подъемное усилие 0,94 кН
Буровой станок БАМ-2	2	$N_{дв}$ = 65 кВт Расход воды 60 л/мин
Пневмобетононасос "Скрю-Крат"	2	Раб.давл. 0,I5 МПа V = 3 $м^3$, N = II кВт
Насос для нагнетания цементного раствора	2	Раб.давл. I,5 МПа
Лебедка 2ЛС-30	I	$N_{дв}$ = 30 кВт
Лебедка ЛПЭ-5/500	I	Грузоподъемность 5 т
Буровой станок "Диамек-250"	I	$N_{дв}$ = 4I кВт Расход воды 5 л/мин

Таблица 2

График работ по проходке ГПК "Роббинс" зоны разлома

№ п/п	Работы	Единица измерения	Количество	Продолжительность работ, сут.
I	Разработка камеры № I для ПНБ-3Д	$м^3$	110,0	I
2	Демонтаж колец из железобетонных блоков блокоукладчиком	шт.	7,0	3
3	Отгон технологической тележки ГПК "Роббинс"	м	80,0	I,5
4	Разработка камеры № 2 для станка БАМ-2	$м^3$	95,0	I
5	Расширение РДШ	$м^3$	297,0	7,3
6	Бурение скважин опережающей крепи с учетом перестановки станков	м	I750,0	26,2**
7	Устройство торцевой стенки из бетона	$м^3$	25,7	3
8	Проходка подходкой штольни $S = 5,I\ м^2$; $\ell = II,0$ м	$м^3$	56,0	5
9	Монтаж колец из железобетонных блоков	шт.	8,0	4
I0	Бетонирование опорных стен в камере (в штольне)	$м^3$	52,8/26,4	4
II	Подгон технологических тележек и подготовка к работе	м	80,0	2
I2	Расчистка ротора ГПК "Роббинс"	$м^3$	-	2

* Работы выполняются последовательно.

** Из условия бурения скважин длиной 25 м двумя станками при скорости бурения по I0 м/смену и 0,5 смены на каждую передвижку.

2. Сооружение камеры для устройства экрана за разломом

Такой способ возможен, если забой тоннеля остановлен перед тем же разломом, что и штольня.

Вначале в разломе с заглублением в скалу проходили нижнюю левую штольню в теле тоннеля (рис.2). Из штольни проходили наклонную штольню на 0,9 м за ось разведочно-транспортно-дренажной

штольня в габаритных размерах камеры. Производили зачистку подошвы, установку опалубки из досок и бетонирование подпоркой стены толщиной 1,0-1,5 м на всю высоту и ширину будущей камеры со стороны ротора. По мере бетонирования в стену закладывали трубы для сброса воды.

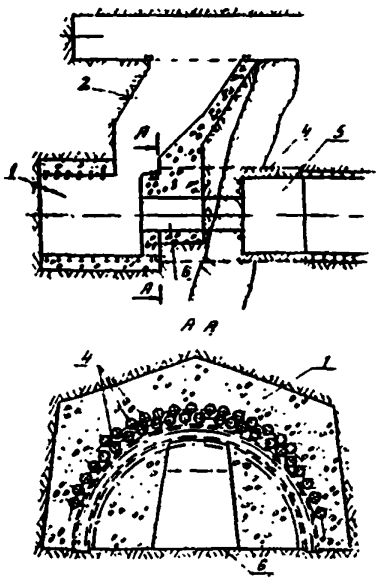


Рис.2. Технологическая схема устройства экрана над щитом из камеры навстречу щиту:
1 - буровая камера; 2 - подходная выработка; 3 - левая нижняя штольня; 4 - трубы экрана; 5 - проходческий щит; 6 - подходная штольня

После набора бетоном необходимой прочности опалубку снимали и продолжали разработку прорезкой в габарите камеры до ее противоположного борта. После проходки прорезной щели под рамы временного крепления подводили унтердуг из двутавра, а ножки рам демонтировали. Затем сооружали камеру. В камере с использованием скреперной лебедки по частям монтировали станок БАМ-2 на шпальной клетке. Станком из камеры бурили скважины и устанавливали в них трубы опережающего крепления, через которые в грунтовый массив инъецировали цементный раствор. По мере бурения скважин станок поднимали на шпальной клетке из бруса

Из камеры под прикрытием экрана из труб разрабатывали подходную штольню к ротору щита с раскрытием калотты. Расчищали ротор и возобновляли проходку

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 4

2. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРЕЖАЮЩИХ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ИЗ ТРУБ 4

3. КОНСТРУКЦИИ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ИЗ ТРУБ 5

4. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА 6

5. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО СООРУЖЕНИЮ ОПЕРЕЖАЮЩИХ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ИЗ ТРУБ I5

6. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ 22

ПРИЛОЖЕНИЯ:

I. Характеристики грунтов и труб, используемые при расчете параметров конструкций защитного экрана 24

2. Пример расчета параметров конструкции опережающего экрана из труб 27

3. Характеристики бурового оборудования, используемого для создания экранов из труб.. 33

4. Производство работ при сооружении железнодорожного тоннеля 34

5. Производство работ при сооружении разведочно-транспортно-дренажной штольни 4I

Редактор Н.З.Букова
Корректор О.Д.Сухова
Технический редактор Г.С.Митрохина

Подп. к печ. 3.02.88. Заказ 79
Объем 3,0 п.л. Тираж 165 экз. Цена 45 коп.
Ротапринт ЦНИИСа

gost.e-ecolog.ru