

**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 Главтранспроектотом**

**Москва 1988**

УДК 624.195.22 (083.75)

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

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Рекомендации разработаны в дополнение СНиП П-44-78 "Тоннели железнодорожные и автодорожные" и СНиП Ш-14-77 "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.Колным, К.П.Безродным, В.Ф.Сарабеевым (ЦНИИС), С.Н.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

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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

Применению 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.

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

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

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

## 2. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРЕЖАЮЩИХ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ИЗ ТРУБ

2.1. 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 вивалов 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 шитовым 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 шитовом 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<sup>1</sup>. 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.1.

Величины усилий, воспринимаемых защитным экраном, определяются опытным путем или в предположении сводообразования в безотпорной 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

$$\delta_{rp,i} = \frac{\Delta p_i l}{P_i} \quad (I)$$

<sup>1</sup> 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.

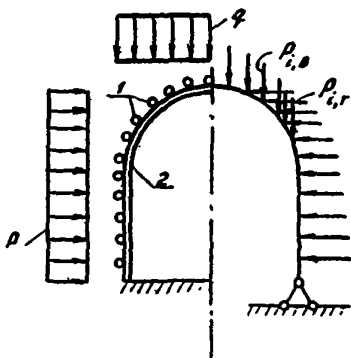


Рис.1. Статическая схема расчета поддерживающего элемента:

1 – стальная труба;  
2 – поддерживающий элемент;  
 $q$  и  $p$  – интенсивности распределенного вертикального и бокового давления грунта;  
 $P_{i,0}$  и  $P_{i,r}$  – 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  $l$  и ( $\delta_{l,0}$ ). тогда для любого шага труб

$$\delta_a = \frac{\delta_{l,0}}{\alpha}, \quad (2)$$

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

Для составных поддерживающих элементов (связанных или строенных арок)

$$\delta^{(m;\alpha)} = \frac{\delta(l; l, 0)}{m \cdot \alpha}, \quad (3)$$

где  $\delta^{(m;\alpha)}$  и  $\delta(l; l, 0)$  – 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 пятнами поддерживающего элемента

$$\delta_{гр,i} = \frac{\Delta_{n,i}}{P_i}, \quad (4)$$

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

$\Delta_{n,i}$  - 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:

$$\delta_n = \frac{h_n}{E_n F_n}, \quad (5)$$

где  $\delta_n$  - коэффициент упругой податливости опирания трубы на подклинивающую прокладку;

$h_n$  - начальная высота прокладки;

$E_n$  - модуль деформации материала прокладки;

$F_n$  - площадь контакта прокладки и трубы

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

$$\delta_{оп} = \delta_i + \delta_{гр,i} + \delta_n \quad (6)$$

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

$$\delta = \delta_r + \delta_{ноп}; \quad (7)$$

$$\delta_r = \frac{\ell_r}{E_r F_r} \cdot n = \delta'_r \cdot n; \quad (8)$$

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



$$\delta = \left( \frac{l_T}{E_T F_T} + \frac{5 \alpha_a^3}{384 (E J)_{\text{под}}} \right) n = (\delta'_T + \delta'_{\text{под}}) n, \quad (10)$$

где  $\delta'_T$  и  $\delta'_{\text{под}}$  - коэффициенты упругой податливости опирания труб на тязь анкера и поперечный подхват;

$l_T$  - длина тязи анкера;

$E_T$  - модуль упругости материала тязи анкера;

$F_T$  - площадь поперечного сечения тязи анкера;

$n$  - количество труб в пролете поперечного подхвата;

$\alpha_a$  - поперечный шаг анкера;

$(E J)_{\text{под}}$  жесткость подхвата.

На рис. 2 и 3 представлены графики для определения  $\delta'_T$  и  $\delta'_{\text{под}}$ .

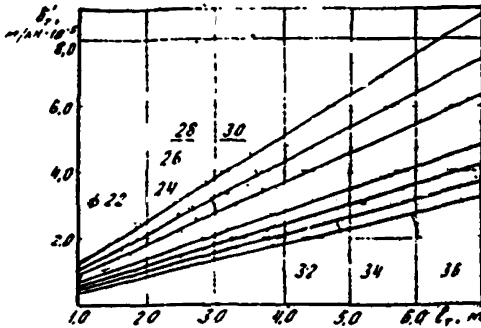


Рис. 2. График для определения коэффициента упругой податливости тязи

ия границы между II и III зонами можно воспользоваться уравнением (13).

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

$$C + (\gamma h_i + R_i) \left\{ \cos^2 \alpha_i \operatorname{tg} \varphi + \sin \alpha_i \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi_n / 2) \right. \\ \left. \times \left[ \frac{\operatorname{arctg} (l_{c, II} / h_i)}{\varphi / 2 - \varphi} (\cos \alpha_i + \sin \alpha_i \operatorname{tg} \varphi) - 1 \right] \right\} = 0;$$

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 (11), а между II и III зонами - по уравнению (12). При ориентировочном расчете, когда глубина заложения туннеля превышает 1.0 м, для определе-

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

- где  $C$  - удельное сцепление грунта;  
 $\gamma$  - удельный вес грунта;  
 $\varphi, \varphi_k$  - действительный и кажущийся углы внутреннего трения грунта;  
 $\alpha_i$  - 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  $\alpha_i$ . 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  $\operatorname{arc} \operatorname{tg} (\ell_{i, II} / h_i) \geq (45^\circ - \varphi)$ , вместо выражения  $\frac{\operatorname{arc} \operatorname{tg} (\ell_{i, II} / h_i)}{45^\circ - \varphi}$  следует подставлять 1.

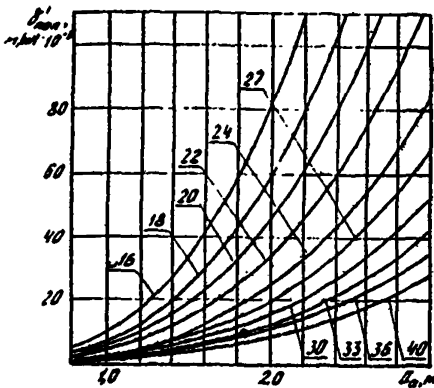


Рис.3. График для определения коэффициента упругой податливости поперечного подвѣта в случае расположения в его пролете одной трубы

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.

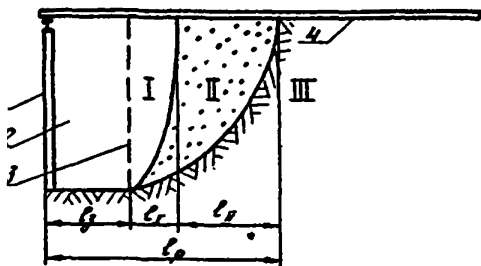


Рис.4. Характерные зоны деформации грунта у забоя:

I - грунт, обрушившийся внутрь выработки; II - грунт, отделяющийся от ненарушенного массива и перемещающийся при прогибах труб скрана внутрь выработки; III - ненарушенный грунт, на который влияние забоя не распространяется; I - поддерживающий элемент; 2 - выработка; 3 - положение поверхности лба забоя

до обрушения;  $l_p$  - рабочий пролет трубы;  $l_д$  - длина заходки;  $l_г$  - длина зоны грунта, обрушающегося внутрь выработки;  $l_д$  - длина зоны грунта, отделяющегося от ненарушенного массива

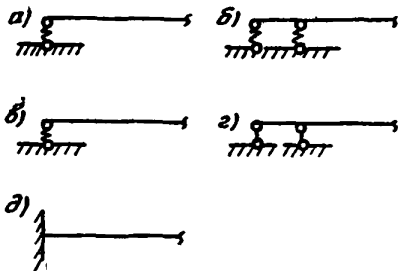


Рис.5. Варианты схем опирания трубы на поддерживающие элементы (элементы расчетной схемы):

а - при точном опирании трубы на арку, анкер при приближенном 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 скрана) до 2-3 м (если в скважину устанавливается труба меньшего диаметра, а обсадная труба извлекается).

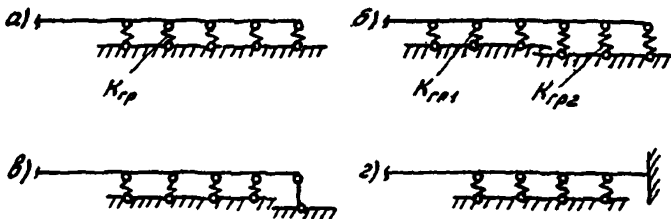


Рис.6. Варианты схем опирания трубы на грунт (элементы расчетной схемы):

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

$$\delta_{из} = \frac{R_{скб}}{K_{отп} \cdot S_{оп} R_B}, \quad (14)$$

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

$$S_{оп} = d_{тр} \cdot l_{оп}$$

Здесь  $d_{тр}$  - диаметр трубы экрана;

$l_{оп}$  - расстояние между соседними упругими опорами.

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

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).

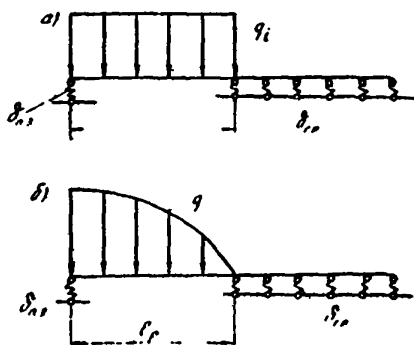


Рис.7. Статическая схема расчета трубы защитного экрана:

а - по опытным данным; б - в предположении самообразования;  $\beta_{н.з}$  и  $\beta_{р.з}$  - коэффициенты упругой податливости опоры трубы на упругие опоры, моделирующие соответственно поддерживающий элемент и ненарушенный грунт;  $l_r$  - длина рабочего пролета трубы;  $q_i$  - интенсивность усилий, воспринимаемых трубой в  $i$ -м сечении

Подбор сечения полых стальных труб осуществляется по формуле

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

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

$$M_{max} = \frac{d}{2(1 + \cos \alpha')} (\alpha_u R_m A_m + \beta_u R_{пр} A_B \omega_2), \quad (16)$$

где  $M_{max}$  - максимальный момент, который может воспринять труба;  
 $d$  - внутренний диаметр трубы;  
 $A_m, A_B$  соответственно площадь поперечного сечения полый стальной трубы и бетона заполнения;  
 $R_m$  - расчетное сопротивление стали растяжению;  
 $R_{пр}$  - призматическая прочность бетона;  
 $\alpha_u$  - коэффициент эффективности для стали (принимается по табл.2 справочного приложения I);

$\beta_u = 1,15$  - коэффициент эффективности для бетона;

$\alpha$  - угол, ограничивающий сжатую зону (принимается по графику, представленному на рис.8);

$$\omega_s = \frac{\sin^3 \alpha'}{3} + \frac{\pi \cdot \alpha}{8} + \frac{\sin 4\alpha'}{32} \quad (17)$$

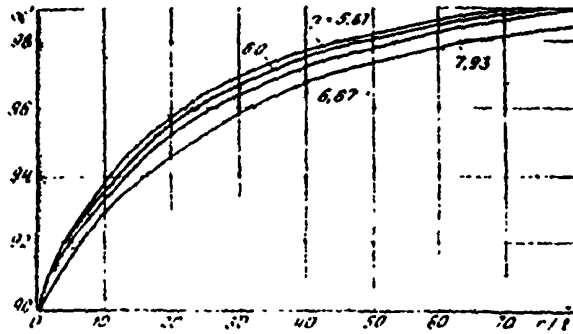


Рис.8. График для определения угла  $\alpha$   
( $n$  - коэффициент приведения  $E_{ct}/E_b$ )

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

4.10. Рассчитывать поддерживающий элемент в виде стальной арки следует, решая уравнение (16) относительно величин  $F_i$  и  $w_i^{nn}$  (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)

$$\left( \frac{N_i q_i}{F_i R_a} \right)^{3/2} + \frac{M_i q_i}{w_i^{nn} R_a} = f, \quad (16)$$

- $F_i$  - площадь  $i$ -го сечения арки;  
 $W_i^{pl}$  - 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 сечении 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 МШН 2.03.01-84 ("Бетонные и железобетонные конструкции") как центрально 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 ОПЕРЕКЛАМБИ 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 пасты);
- г) разработки грунтового ядра и установка поддерживающих элементов;
- д) возведение обделки тоннеля.

На первом этапе производится подготовка оборудования рабочей зоны, размещение и приведение в рабочее положение буровой установки; при необходимости выполняется крепление лба забоя.

5.2. При строительстве порталного участка тоннеля трубы ряда устанавливаются из предпортальной выемки (рис.9,а). В случае пользования защитных экранов на подземных участках тоннеля тандему труб производят из забоя (рис.9,б).

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

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. Сквжины забуривают по контуру выработки с зазором между наружным контуром обделки тоннеля и осью 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 вверную 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 сквжины 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 тоннель 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 грунтовой массив следует использовать станки, позволяющие разбуривать сквжины во всем диапазоне ожидаемых грунтов. Наименования и некоторые характеристики таких буровых станков приведены в прилагаемом приложении 3.



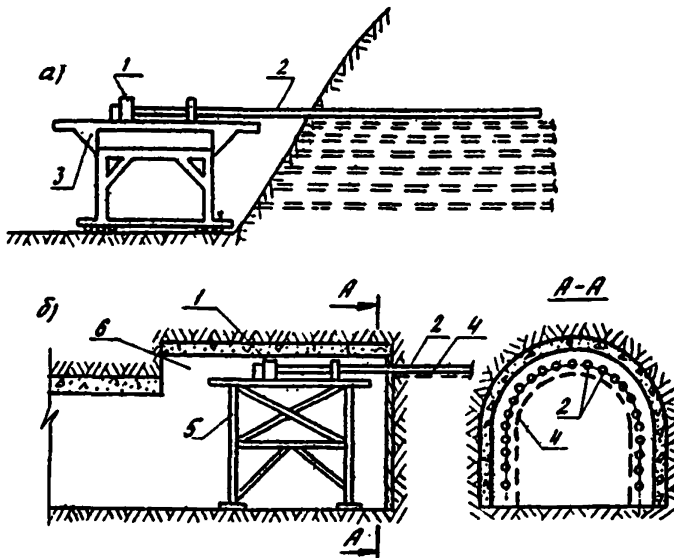


Рис.9. Устройство защитного экрана:  
 а - с поверхности; б - из подземной камеры; 1 -  
 буровая установка; 2 - труба защитного экрана; 3 - бу-  
 ровая рама; 4 - контур выработки; 5 - подмости; 6 - камера

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 ступенчатим забоем буровой станок размещают последовательно на каждой ступени (рис.12)

5.8. После установки труб защитного экрана в грунтовой 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 8-10 см.

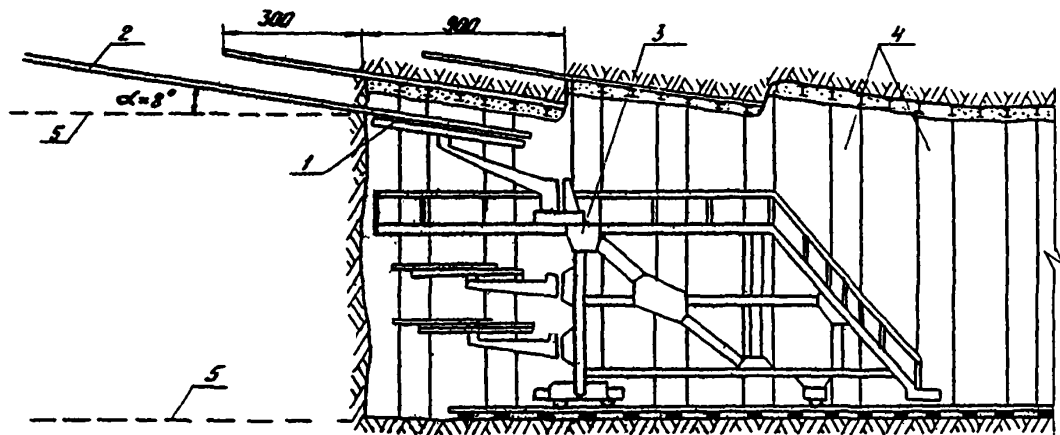


Рис.10. Устройство наклонных перекрывающихся экранов из труб:  
 1 - буровой станок; 2 - трубы защитного экрана; 3 - буровая рама; 4 - арочно-бетонная крешь; 5 - контур выработки

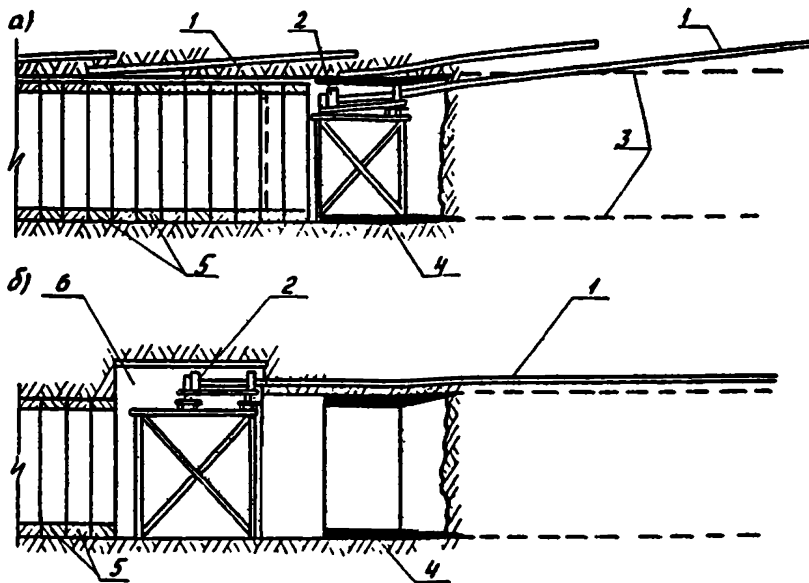


Рис. II. Схемы устройства защитного экрана при щитовой проходке выработки:

а - с устройством экрана непосредственно из щита; б - с забуриванием труб из камеры вне щита; 1 - 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 предпочтительнее производить параллельно с процессом извлечения обсадной трубы в несколько этапов с шагом извлечения трубы 1-2 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 1:1 - 1:2. Для повышения подвижности раствора в смесь можно добавлять 5-10 % 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 10-15 мин при постоянном давлении.

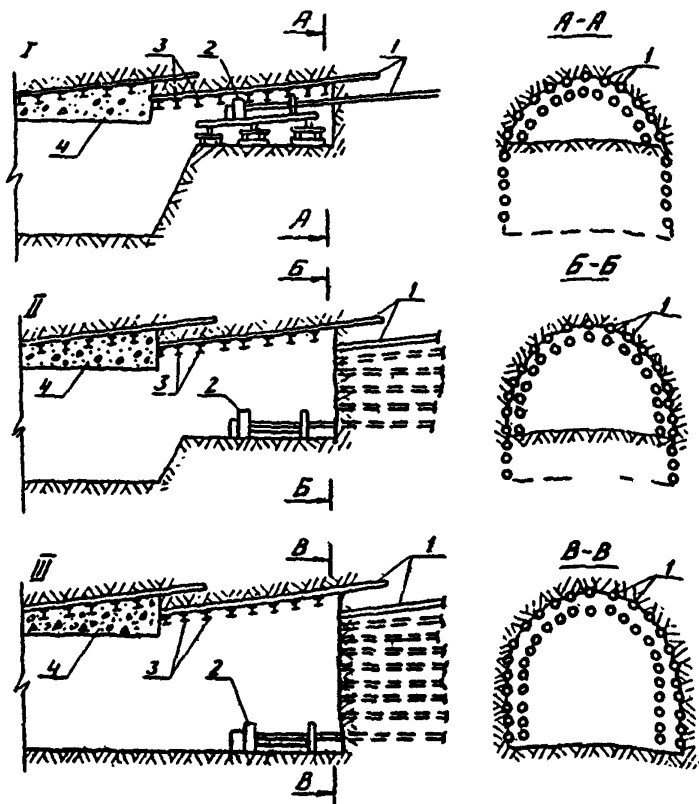


Рис. 12. Технология, предусматривающая установку в грунт труб защитного экрана в несколько этапов:  
 1 - трубы защитного экрана, 2 - буровой станок; 3 - поддерживающие элементы; 4 - обделка тоннеля

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. 13.

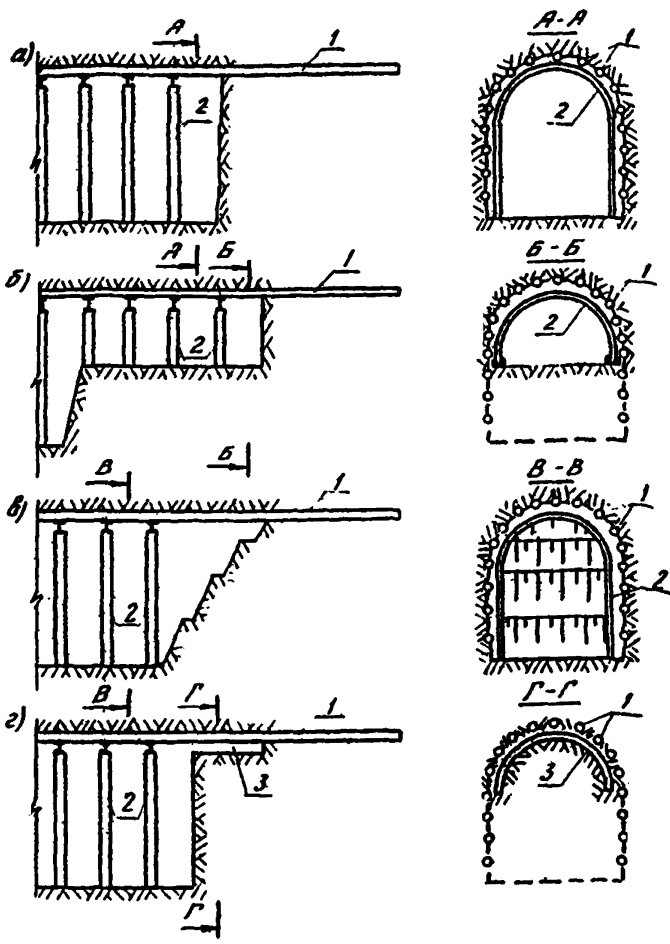


Рис.13. Схемы разработки грунта под защитой экрана из труб:  
 а - на полный профиль; б - ступенчатым забоем; в - минимальными уступами; г - с предварительной контурной подрезкой грунта в забое; 1 - трубы защитного экрана; 2 - поддерживающие элементы; 3 - контурная щель

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

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):

$$l_3 = l_p - l_1 - l_d \quad (19)$$

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 устоиловку наклонных арок или опережающих анкеров.

В рекомендуемом приложении 4 приведены 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.

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

5.11. 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

6.1. 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 грунто-водяной пульпы из скважины.

6.12. При проведении инъекционных работ запрещается:  
использовать шланги имеющие вздутые 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, ИСПОЛЗУЕМЫЕ  
ПРИ РАСЧЕТЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ  
ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА

Т а б л и ц а I  
деформационные характеристики грунтов

Типы грунтов	Удельный коэффициент упругого отпора, $K_{отп} \cdot 10^{-4}, \text{кН/м}^3$	Модуль деформации, $E_0 \cdot 10^{-4}$ мПа	Коэффициент Пуассона
Граниты	500-900	4-11	0,18-0,22
Доломиты	300-500	5	0,15
Кварциты	350-1000	5-15	0,12-0,14
Аргиллиты	40-60	1-4,5	0,17-0,25
Алевролиты	30-50	1-3	0,2-0,3
Песчаники	80-100	0,2-0,4	0,1-0,3
Сланцы:			
глинистые	20-60	1-4	0,22
песчаные	30-80	1-3	0,15-0,4
Известняки	40-80	0,4-0,8	0,27
Глины:			
плотные	10-20	0,002-0,006	0,3
пластичные	1-4	0,001-0,004	0,4
Крупнообломочные	5-10	0,05-0,1	0,27
Песок:			
крупный и средний	3-5	0,0013	0,3
мелкий пылеватый	1-1,5	0,006-0,01	0,3



Т а б л и ц а 2  
 Значение коэффициента  $\alpha_u$  для расчета  
 трубобетонного элемента

$t/d$	Класс стали труб					
	C 38/23	C 44/29	C 46/33	C 52/40	C 60/45	C 70/60
0,005	1,16	1,14	1,13	1,10	1,08	1,02
0,01	1,14	1,13	1,12	1,11	1,09	1,04
0,015	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,06
0,02	1,12	1,11	1,10	1,09	1,09	1,07
0,025	1,12	1,10	1,10	1,08	1,08	1,07
0,03	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06
0,035	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06
0,04	1,11	1,10	1,09	1,07	1,06	1,05
0,045	1,11	1,10	1,09	1,07	1,06	1,05
0,05	1,11	1,10	1,09	1,06	1,05	1,05
0,055	1,11	1,10	1,09	1,06	1,05	1,05

Т а б л и ц а 3  
 Максимальные изгибающие моменты, воспринимаемые трубами защитного экрана

D, мм	Максимальные изгибающие моменты, МН·см; для труб - полых/заполненных бетоном при толщине стенки с, мм							
	6	8	10	12	14	16	18	20
102	0,68/1,47	0,88/2,26	1,05/2,60	1,21/2,86	1,35/3,07	1,48/3,23	1,60/3,32	1,70/3,38
108	0,77/2,13	0,99/2,59	1,19/2,99	1,38/3,30	1,54/3,56	1,69/3,76	1,83/3,90	1,95/3,98
121	0,98/3,02	1,26/3,37	1,53/3,90	1,77/4,37	1,99/4,75	2,20/5,04	2,39/5,31	2,56/5,47
125	1,05/3,26	1,36/3,64	1,64/4,12	1,90/5,02	2,15/5,14	2,37/5,50	2,57/5,79	2,76/6,00
133	1,20/3,74	1,55/4,21	1,88/4,88	2,18/5,45	2,46/5,99	2,73/6,43	2,97/6,76	3,19/7,07
140	1,33/4,20	1,72/4,72	2,09/5,51	2,44/6,16	2,76/6,80	3,06/7,31	3,34/7,73	3,60/8,09
152	1,58/5,07	2,05/6,24	2,50/6,66	2,92/7,50	3,31/8,31	3,68/8,94	4,02/9,52	4,34/9,99
180	2,25/7,45	2,93/9,18	3,58/9,86	4,20/11,15	4,78/12,35	5,34/13,39	5,87/14,45	6,37/15,28
203	2,88/9,80	3,77/12,07	4,61/14,19	5,42/14,80	6,20/16,42	6,94/17,87	7,64/19,18	8,32/20,56
219	3,37/11,66	4,41/14,32	5,41/16,85	6,37/17,58	7,29/19,55	8,17/21,39	9,02/23,01	9,83/24,73
245	4,24/15,15	5,56/18,53	6,84/21,79	8,07/24,86	9,25/25,31	9,83/27,76	11,50/30,08	12,56/32,08
273	5,29/19,34	6,95/23,83	8,56/27,77	10,12/31,79	11,63/35,51	13,09/35,61	14,50/38,63	15,87/41,54
299	6,37/23,88	8,38/29,32	10,34/34,23	12,23/39,14	14,08/43,61	15,87/44,06	17,61/47,83	19,29/51,56
325	7,55/28,96	9,95/35,47	12,28/41,44	14,55/47,14	16,76/52,77	18,91/56,25	21,01/57,88	23,05/62,33
351	8,83/34,64	11,64/42,31	14,39/49,23	17,07/56,23	19,68/62,93	22,23/69,29	24,71/75,46	27,14/74,29
377	10,22/41,27	13,48/49,68	16,67/58,04	19,78/66,21	22,83/74,21	25,81/81,53	28,72/81,05	31,56/87,76

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 – древесно-щебенисто-глинистая масса со следующими физико-механическими характеристиками:  $f' = 0,9$ ;  $C = 50$  кПа;  $\varphi = 29^\circ$ ;  $\varphi_k = 42^\circ$ ,  $\gamma = \rho g = 1,8 \cdot 10 = 18 \text{ т/(м}^2 \cdot \text{с}^2) = 18 \text{ кН/м}^3$ ;  $\rho = 1,8 \text{ т/м}^3$ ;  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

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 нагрузку от веса грунта в пределах свода обрушения, причем нижняя граница свода обрушения совпадает с пятой свода выработки.

В соответствии со СНиП П-44-78:

$$q^N = 270 \text{ кПа}; \quad p^N = 64 \text{ кПа}; \quad q = 405 \text{ кПа}; \quad p = 115 \text{ кПа}.$$

#### 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 II и III 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 *SRT3EC*, основанной на расчете стержневых систем методом конечного элемента<sup>I</sup>. В таблице приведены значения коэффициентов упругой податливости опирания на рассматриваемые поддерживающие элементы при расстоянии между осями труб I м.

Ожидаемое перемещение пяти 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 <sup>2</sup>	$EF$ , кН	$\delta(I:I,0)$ , м/кН
I № 27	10520	844200	$23,3 \cdot 10^{-5}$
I № 30	14870	976500	$20,9 \cdot 10^{-5}$
I № 33	20660	1129800	$16,7 \cdot 10^{-5}$
I № 36	28100	1299900	$13,5 \cdot 10^{-5}$
I № 40	40030	1524600	$10,5 \cdot 10^{-5}$
Омоноличенный I № 27	67930	10294200	$4,3 \cdot 10^{-5}$
I № 30	93620	11476500	$3,3 \cdot 10^{-5}$
I № 33	125480	12679800	$2,7 \cdot 10^{-5}$
I № 36	164180	13899900	$2,1 \cdot 10^{-5}$
I № 40	226700	15524600	$1,7 \cdot 10^{-5}$
I № 27 омоноличенный бетоном обделки согласно проекту	1568000	29125600	$0,4 \cdot 10^{-5}$

Область наиболее вероятного варьирования величины  $\delta_n$  в зависимости от высоты и материала подкладки находится в пределах от  $0,5 \cdot 10^{-5}$  до  $30 \cdot 10^{-5}$  м/кН.

Коэффициент упругой податливости опирания труб на упругие опоры, моделирующие грунт ненарушенной зоны, определялся по формуле (14).

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 *МОПР*, служащей для расчета балок на упругоподатливых опорах<sup>I</sup>.

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

<sup>I</sup> Программа *МОПР* разработана на кафедре мостов в МАДИ.

экрана при различных рабочих пролетах и расстояниях между осями труб.

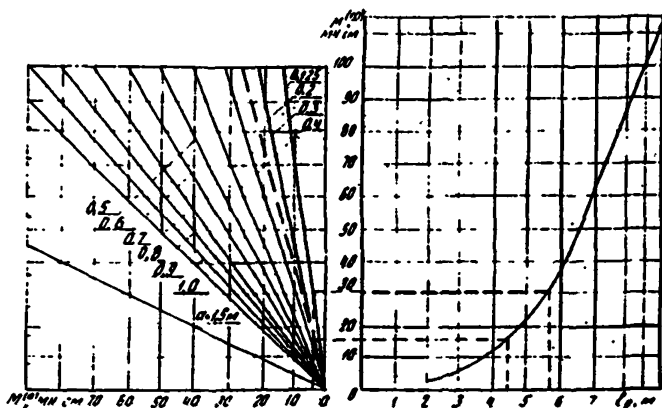


Рис.1. Номограмма для приближенного определения значений изгибающего момента в трубах защитного экрана

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 (16). Для стальной трубы диаметром 114 мм с толщиной стенки 12 мм и заполненной бетоном М300  $M_{доп}^{доп} = 3,8 \text{ тс}\cdot\text{м} = 38 \text{ кН}\cdot\text{м} = 3,8 \text{ МН}\cdot\text{см}$ .

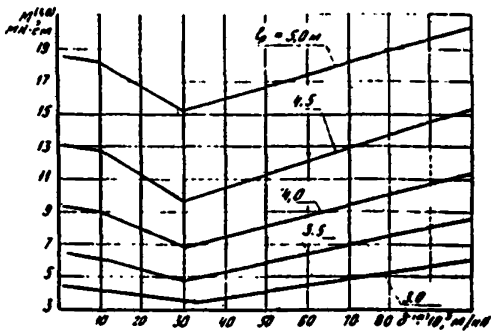


Рис. 2. График для определения значений изгибающих моментов в зависимости от коэффициента упругой податливости опирания труб на поддерживающий элемент при рабочем пролете от 3 до 5 м

### Определение длины нарушенной зоны грунта перед забоем

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

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

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

### 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  $\ell_p = 4,5 \text{ м}$  до пересечения с кривой, затем от точки пересечения проводим горизонталь до пересечения с вертикальной линией, проведенной на левом графике через точку  $m^{(\alpha)} = 3,8 \text{ тс} \cdot \text{м} = 3,8 \text{ МН} \cdot \text{см}$ . Значения  $\alpha$  наклонных прямых левого графика, находящиеся справа от полученной точки пересечения, являются допустимыми. Наиболее близкой к точке пересечения является прямая, соответствующая  $\alpha = 0,25 \text{ м}$ .

Следовательно,  $\alpha_{\text{max}} = 0,25 \text{ м}$ .

### Определение параметров поддерживающих элементов

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

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.

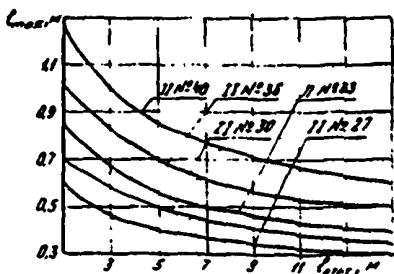


Рис. 3. График зависимости максимального шага поддерживающих элементов от величины отставания рассматриваемого участка от рабочего пролета

Поддерживающие элементы, представляющие 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 I 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	$\pm 10$
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
УЭС	130	210	0-10

ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПРИ СООБРУЖЕНИИ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТОННЕЛЯ

1. Бурение скважин без обсадки

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

С технологической тележки, установленной на буровой раме "Бу-рукава" 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 в своде тоннеля.

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

Длина участка тоннеля, проходимого под защитой опережающей крепи, составляла 9 м. Длина заходки не превышала 1 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 набивали 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 устройстве экрана из труб двухпутного железнодорожного тоннеля (табл. 1-4).

Т а б л и ц а 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 <sup>3</sup> породы 0,333 м <sup>3</sup> /мин	
2	Породопогрузчик "Катерпиллер"	I	$N_{дв} = 125$ кВт	Снабжен газоочистителем
3	Бульдозер "Катерпиллер"	I	$N_{дв} = 125$ кВт	То же
4	Породопогрузочная машина ПНЕ-3Д	I	$N_{дв} = 94$ кВт	
5	Автопоезд МОАЗ-640II	3	$N_{дв} = 147$ кВт	- " -
6	Автобетоносмеситель СБ-92 (СБ-69)	2	Емкость барабана 3,5 (2,6) м <sup>3</sup>	- " -
7	Растворонагнетатель НГР-250/50	I	Давление 5 МПа $N = 26$ кВт	
8	Перфоратор ПР-30 л с пневмоподдержкой Ш-18	4	Расход сжатого воздуха 3,5 м <sup>3</sup> /мин	
9	Вибратор ИВ-66	4	$N = 0,6$ кВт	
Ю	Станок НКР-ЮО м	2	$L = 100$ м; $\varnothing = 105$ мм	
II	Отбойный молоток МО-Ю	15	Расход сжатого воздуха I, 15 м <sup>3</sup> /мин	

Т а б л и ц а 2  
Основные объемы работ

Работы	Единица измерения	Количество
Устройство опережающей крепи (на I секция 12 м)		
Бурение скважин Ø 105 мм станком НКР-100	шт / м	25/300
Установка перфорированных труб Ø 76 мм $l = 12$ м	шт / кг	25/2130
Нагнетание цементного раствора состава 1:2	м <sup>3</sup>	16
Проходка I м туннеля сечением $f_{cp} = 121,8$ м <sup>2</sup>		
Разработка породы отбойными молотками	м <sup>3</sup>	122
Погрузка породы	м <sup>3</sup>	122
Установка арок временной крепи	шт / кг	1,0/1240
Устройство опалубки из досок $t = 40$ мм (разборка)	м <sup>2</sup>	29,3
Устройство торцевой опалубки из досок $t = 40$ мм (разборка)	м <sup>2</sup>	9
Укладка черного бетона М200	м <sup>3</sup>	9

Т а б л и ц а 3

Работы по устройству опережающей крепи длиной 12 м

№ п/п	Источник нормирования ЕНиР	Работы	Единица измере- ния	Коллчест- во	Норма времени		Продолжитель- ность опера- ции, ч	Продолжи- тельность работ сутки
					на еди- ницу измере- ния	общее		
1	ПНР	Бурение скважин Ø 105 мм станком НКР-100	м	300	0,92	276,0	138	6,75
2	§ 36-2-14 № 2	Первичное нагне- тание цементного раствора	1 м <sup>3</sup>	160*	2,6	41,6	42	1,75
3	§ 36-2-106 т.2. "3"	Контрольное нагне- тание цементного раствора	1 м тонне- ля	12	3,8	45,6	48	7,00
	То же	Вспомогательные работы	-	-	-	-	-	3,50

\* Уточняется по факту

Т а б л и ц а 4

Работы по проходке тоннеля длиной 9 м сечением  $F_{ср} = 121,8 \text{ м}^2$   
под защитой опережающей крепи длиной 12 м

№ п/п	Работы	Единица измерения	Количество	Продолжительность работ, сутки
1	Устройство опережающей крепи <sup>I</sup>	м	120	7
2	Проходка тоннеля отбойными молотками	м/м <sup>3</sup>	9/110	12

<sup>I</sup> Средняя скорость проходки с опережающей крепью  $\frac{9 \times 24,5}{19} \approx 12 \text{ м/мес}$

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

Один или два буровых станка БМ-2 фирмы "Тонз-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.

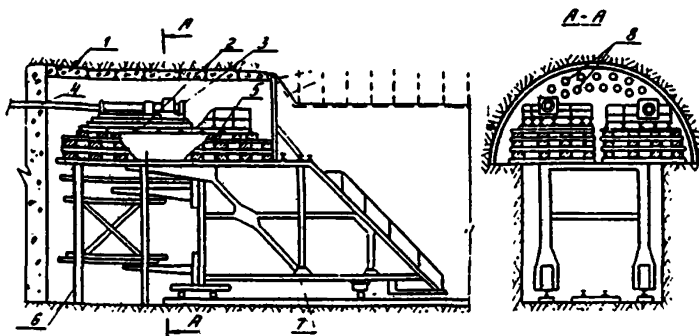
Работы по инь-цированию грунта и проходке тоннеля вели в той же последовательности, что и в п. I настоящего приложения.

Набор основного оборудования такой же кроме замены станка НКР-100 на буровой станок фирмы "Тонз-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 дугавров, на которые через распорки передавали давление от рам станков. Скважины забуривали горизонтально (рисунок). Работы по инь-цированию грунта и проходке под экраном производили аналогично описанному в п. I настоящего приложения. Разработку забоя вели способом нижнего

уступа. При разработке нижнего уступа арки поддерживали рандбал-  
кой 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 - лодпорная  
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 одно-  
путного железнодорожного тоннеля приведены в табл.5 и 6.

Т а б л и ц а 5

Основное оборудование

Наименование, тип, марка	Коли- чест- во	Характеристика	Примеча- ние
Буровая рама "фурукава"	1	Расход сжатого воз- духа 40 м <sup>3</sup> /мин	
Буровой станок БМ-2	2	Масса 5 т	
Перфоратор ПР-30 Д	2	Расход сжатого воз- духа 3,5 м <sup>3</sup> /мин	
Пневмоподдержка П-18 ЛА	2	Расход сжатого воз- духа 0,1 м <sup>3</sup> /мин	
Перфоратор ПТ-45	2	Расход сжатого воз- духа 4 м <sup>3</sup> /мин	

Продолжение табл. 5			
Наименование тип, марка	Количество	Характеристика	Примечание
Лебедка: П-Ю	I	Грузоподъемность 10 т	Для подъема труб
пневматическая	I	Грузоподъемность 2 т	В комплекте с буровой рамой

Т а б л и ц а 6

Основные объемы работ

Работа	Единица измерения	Количество	Примечание
Бурение скважин под обсадные трубы	м	1950	Длина 30 м Ø 165 мм
Установка обсадных труб	м	1950	65 мм
Установка стоек, опорных балок, укосин	м/кг	650/23700	I № 30
Устройство шпальной клетки	м <sup>3</sup>	15	Брус 20х20 см
Устройство настила на рамы под станка	м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	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 отгоняли от щита за пределы камеры с породопогрузочной машиной.

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

В камере на металлические рамы, расположенные на шпальной клетке, устанавливали два буровых станка БМ-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 бочушки, закрепленные в стенах камеры. Сами лебедки крепили на рамах.

Из камеры станками БМ-2 оурили 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 прифрытом 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 подходкой штольни.

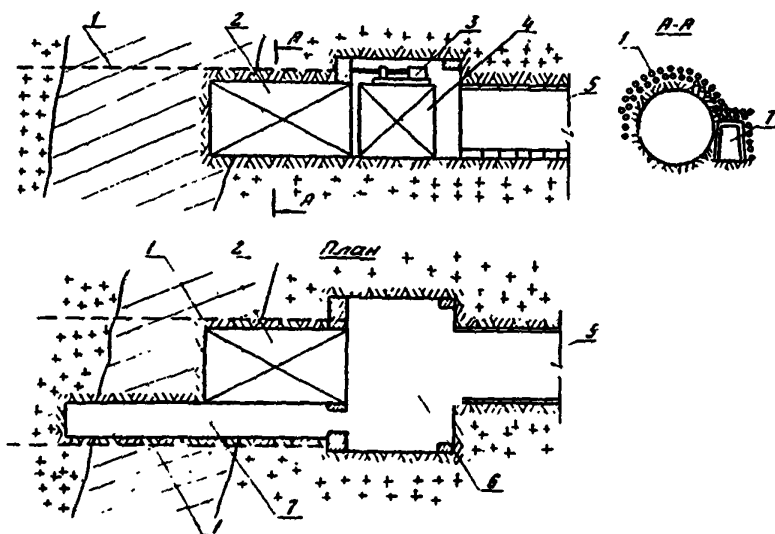


Рис.1. Технологическая схема устройства экрана над проходческим щитом из камеры перед разломом:  
 1 - трубы экрана; 2 - проходческий щит; 3 - буровой станок;  
 4 - подмости; 5 - выработка тоннеля; 6 - камера; 7 - обходная штольня

На всю длину камеры с закреплением к продольным балкам из старогонных рельсов устанавливали предлотовые блоки. Устанавливали закладные стойки для крепления вторых от лотка блоков. Бетонировали лазухи между блоками и выработкой на высоту первого предлотового блока. Устанавливали вторые блоки с креплением к закладным деталям и бетонировали лазухи 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. 1 и 2.

Т а б л и ц а 1  
Перечень основного оборудования

Оборудование	Количество, шт.	Краткая характеристика
Породопогрузочная машина ПНБ-3Д	1	Промзв. 60 м <sup>3</sup> /ч $N_{дв} = 136$ кВт
Электровоз АМ-8Д	2	$N_{дв} = 24$ кВт, масса 8 т
Вагон ВПК-7	6	Расход сжатого воздуха 23 м <sup>3</sup> /мин, вместим. 7 м <sup>3</sup>
Отбойный молоток МО-10	6	Расход сжатого воздуха 1,25 м <sup>3</sup> /мин
Перфоратор ПР-30Л	4	Расход сжатого воздуха 3 м <sup>3</sup> /мин
Пневмоподдержка ППК-1	4	Подъемное усилие 0,94 кН
Буровой станок БАМ-2	2	$N_{дв} = 65$ кВт Расход воды 60 л/мин
Пневмобетонасос "Скря-Крат"	2	Раб. давл. 0,15 МПа $V = 3$ м <sup>3</sup> , $N = 11$ кВт
Насос для нагнетания цементного раствора	2	Раб. давл. 1,5 МПа
Лебедка ЛЛС-30	1	$N_{дв} = 30$ кВт
Лебедка ЛЛЗ-5/500	1	Грузоподъемность 5 т
Буровой станок "Диамек-250"	1	$N_{дв} = 41$ кВт Расход воды 5 л/мин

Т а б л и ц а 2

График работ по проходке ГПК "Роббинс" зоны разлома

№ ц/п	Работы	Единица измерения	Количество	Продолжительность работ, сут.
I	Разработка камеры № I для ПНБ-ЗД	м <sup>3</sup>	110,0	I
2	Демонтаж колец из железобетонных блоков блокоукладчиком	шт.	7,0	3
3	Отгон технологической тележки ГПК "Роббинс"	м	80,0	1,5
4	Разработка камеры № 2 для станка БМ-2	м <sup>3</sup>	95,0	I
5	Расширение РДШ	м <sup>3</sup>	297,0	7,3
6	Бурение скважин опережающей крепи с учетом перестановки станков	м	1750,0	26,2 <sup>сек</sup>
7	Устройство торцевой стенки из бетона	м <sup>3</sup>	25,7	3
8	Проходка подходкой штольни $S = 5,1 \text{ м}^2$ ; $L = 11,0 \text{ м}$	м <sup>3</sup>	56,0	5
9	Монтаж колец из железобетонных блоков	шт.	8,0	4
10	Бетонирование опорных стен в камере (в штольне)	м <sup>3</sup>	52,8/26,4	4
11	Подгон технологических тележек и подготовка к работе	м	80,0	2
12	Расчистка ротора ГПК "Роббинс"	м <sup>3</sup>	-	2

\* Работы выполняются последовательно.

<sup>сек</sup> Из условия бурения скважин длиной 25 м двумя станками при скорости бурения по 10 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

штольни 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.

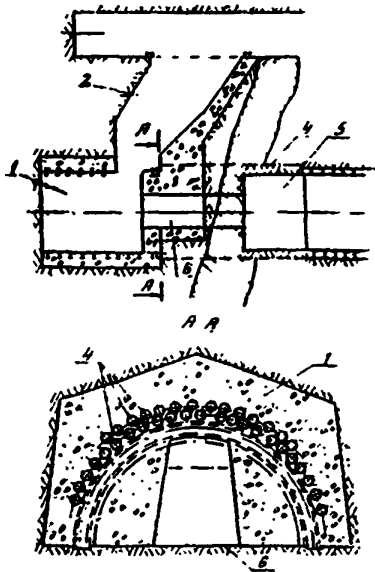


Рис.2. Технологическая схема устройства экрана над щитом из камеры навстречу щиту:  
1 - буровая камера; 2 - под-  
ходная выработка; 3 - левая нижняя  
штольня; 4 - трубы экрана; 5 -  
проходческий щит; 6 - подходная  
штольня

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 БМ-2 на шпальной клетке. Станком из камеры бурили скважины и устанавливали в них трубы опережающего крепления, через которые в грунтовой 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
1. 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 .....	15
6. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ .....	22
ПРИЛОЖЕНИЯ:	
1. Характеристики грунтов и труб, используемые при расчете параметров конструкции 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	41

Редактор Н.Э.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