

102 13330 2012

2.06.09-84

2012

102.13330.2012

27 2002 . 184- « »,
» . 19 2008 . 858 « -

1 - « . . . »

2 465 « »

3 ,

4 () 30 2012 268 1 2013

5 () 102 13330 2011 « 2 06 09-84

() « »,
« » -

« » .

() » .

1		1
2		1
3	.....	2
4	.....	3
5	.....	5
6		7
7		8
8	.....	14
9	.....	16
10	,	..... 23
11		27
	( )	..... 33
	( )	..... 41
	()	45
	( )	..... 46

21 1997 117 «
», 27 2002 . 184-
», 30 2009 . 384
«
».
«
»:
- . . . , - . . . , - . . .
. . . , . . . , . . . , . . .
. . . , , - . . .

Hydraulic tunnels

2013-01-01

1

, . (

, - ,

- .),

2

:
 14.13330.2011 « II-7-81* »
 16.13330.2011 « II-23-81* »
 20.13330.2011 « 2.01.07 85* »
 23.13330.2011 « 2.02.02 85* »
 31 13330 2012 « 2 04 02 84* »
 »
 41.13330.2012 « 2.06.08-87 »
 58.13330.2012 « 33-01 2003 »
 »
 63.13330.2012 « 52-01-2003 »
 »
 91.13330.2012 « II-94 80 »
 26633-91
 21153 1 75
 14637-89
 380-2005
 19282 73

1 « »
,
(),
()
,
3
3.1 :
3.2 :
3.3 :
3.4 :
3.5 :
3.6 :
3.7 :
().
3.8 : (,),
3.9 :
3.10 :
3.11 :
3.12 :
3.13 :
3.14 :
3.15 :

(, .),

: , , , ,

3.16 : ,

3.17 : .

.

,

.

4

4.1 , ,

58.13330. ,

, 31.13330.

4.2 :

,

,

,

;

,

(

);

,

,

,

,

.

4.3

:

;

- ();

.

,

4.4

(,),

,

4.5

4.6

(, ,)

4.7

4.8

4.9

4.10

23.13330.

4.11

4.12

I II

5

5.1

5.2

5.3

5.1

10 /

60°.

(10 /)

1)

I II

1).

(

5.4

6 .

(1),

1

f

21153 1

()

10.

Т а б л и ц а 1

Форма поперечного сечения туннеля	Коэффициент крепости грунтов f (по Протодьяконову)	Соотношения размеров сечения			
		r_1/b	r_2/b	r_3/b	r_4/b
I	$f \geq 8$	0,71	0,1 0,15		
II*	$8 > f > 4$	0,5	0,1 0,15		
III**	$4 \geq f \geq 2$	0,25	0,1 – 0,25	1 – 0,9	–
IV	$f < 2$	0,5	0,1 0,15	1 1,5	1 1,5

* Допускается применять при форме I поперечного сечения туннеля (рисунок 1).
 ** Применяется при специальном обосновании.

П р и м е ч а н и я
 1 Данные таблицы 1 относятся к соотношению $h/b = 1$. При колебании уровня воды в туннеле свыше $0,3h$ допускается принимать $h/b > 1$.
 2 В местах сопряжения лотка со стенами туннеля необходимость устройства закруглений (вугтов) определяется расчетом.

5.5 Для безнапорных туннелей, проходящих в грунтах, развивающих горное давление, несимметричное относительно вертикальной оси сечения, в набухающих грунтах, а также при высоком напоре подземных вод следует принимать поперечное сечение кругового очертания.

При надлежащем обосновании допускается принимать другие формы поперечного сечения безнапорных туннелей.

Для безнапорных туннелей глубокого заложения наружное (прилегающее к породе) очертание стен и сводов должны определяться на основании анализа построенных туннелей в аналогичных условиях, а, при отсутствии таких аналогов, расчетом на основе численных моделей

5.6 Поперечное сечение напорных туннелей следует принимать кругового очертания. В устойчивых очень слаботрешиноватых скальных грунтах допускается принимать некруговое очертание напорного туннеля (см. рисунок 1, формы I, II, IV), если при этом удовлетворяются условия прочности обделки. Степень (модуль) трещиноватости скальных грунтов следует определять по СП 23 13330

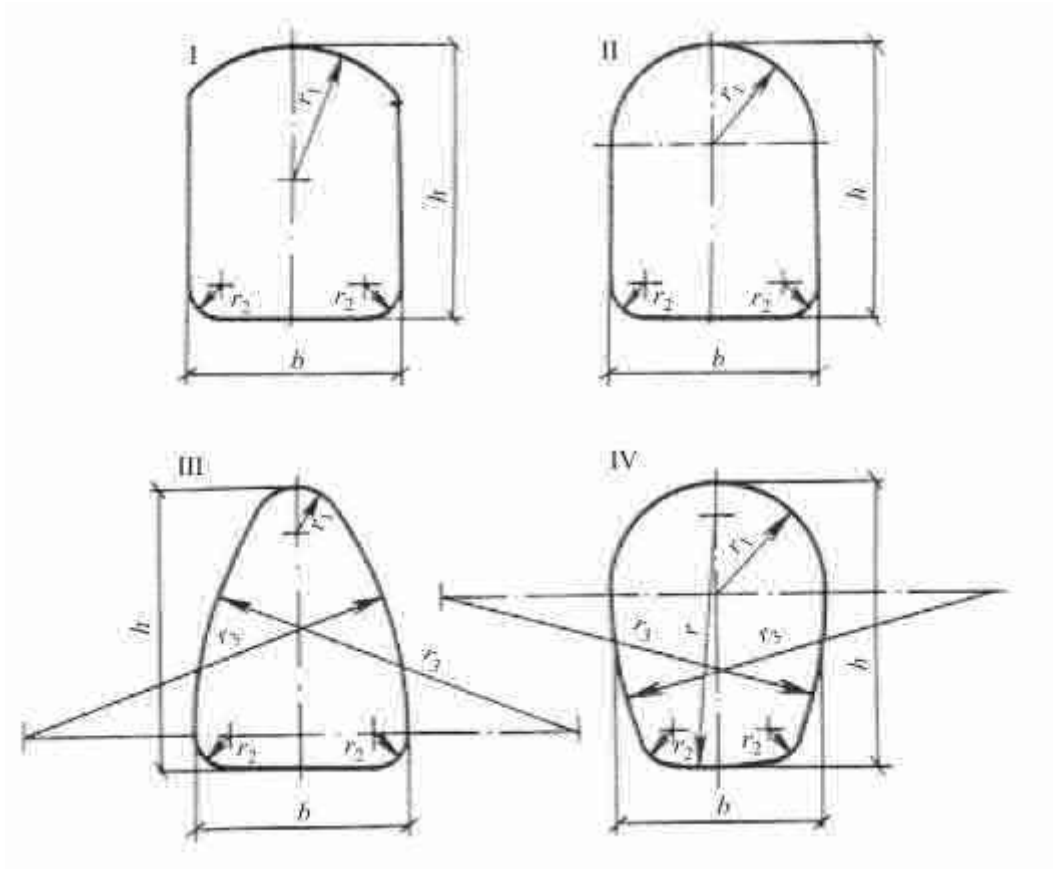
5.7 Размеры поперечного сечения туннелей следует определять на основании гидравлических и технико-экономических расчетов.

На начальных стадиях проектирования диаметр (или пролет) туннеля допускается принимать от 2 до 6 м – через 0,5 м, свыше 6 м – через 1 м

В случае частичного напорного гидравлического режима и при скоростях воды в туннеле свыше 10 м/с размеры поперечного сечения необходимо назначать с учетом опыта эксплуатации туннелей, находящихся в аналогичных условиях, или на основании специальных гидравлических расчетов и исследований.

5.8 Высоту воздушного пространства над уровнем воды в безнапорном туннеле при установившемся течении воды со скоростью до 10 м/с следует принимать на основании гидравлических расчетов, но не менее 0,07 высоты туннеля в свету и не менее 40 см.

При скоростях течения воды в туннеле свыше 10 м/с достаточность указанного воздушного пространства должна быть обоснована



I

5.9

5.10

6

6.1

(,)

41.13330

6.2

:

.....	20
.....	30
.....	25

W6,

W8.

41 13330

() ,

180 .

6.3

()

6.4

-
B_t 2,4.

-

B_t 2,4; *B_t* 2,8; *B_t* 3,2
3,25×10⁴, 3,6×10⁴ 3,9×10⁴ .

6.5

()

6.6

6.7

() ,

- ,

41.13330.

5 – 8 %

6.8

-II (300) -III (400).

41.13330.

6.9

16.13330.

7

7.1

7.2

73

;

7.4

:

;

()

75

7.6

(50)

7.7

15 /

7.8

7.9

7.10

7.11

10 /

7.12

7.13

6

7.14

7.15

- .
 - 10 / ;
 - , 10 .

7.16

2.
 , (, , ,) .
 , - .
 - 0,5 .
 -

$$f = 4 \cdot 8$$

7.17

(,) ,
 () ,
 , ,
 , 0,25 / , ,

7.18

0,15 0,15 r_i b

Если по условиям трещиностойкости требуется увеличение толщины обделки напорных туннелей следует рассмотреть возможность применения материала обделок с меньшими значениями модулей упругости, чем у тяжелых бетонов, или улучшения деформационных характеристик грунтов путем их укрепительной цементации, или применения предварительно напряженной железобетонной обделки туннеля на напрягающем цементе. При этом решение по улучшению деформационных характеристик грунтов путем их укрепительной цементации должно приниматься на основе технико-экономического сопоставления вариантов после выполнения укрепительной цементации на опытном участке.

Т а б л и ц а 2

Обделка	Коэффициенты крепости f и удельного отпора грунта K_0 , Н/см ³ (кгс/см ³)								
	$f > 8$; $K_0 > 5000$ (500)			f от 4 до 8; $K_0 = 2000 - 5000$ (200 500)			$f < 4$; $K_0 < 2000$ (200)		
	Напор воды, м								
	Менее 30*	От 30 до 100	Свыше 100	Менее 30*	От 30 до 100	Свыше 100	Менее 30*	От 30 до 100	Свыше 100
Монолитная:									
бетонная	+	+	+	+	+	+	+		
из прессованного бетона				+			+		
набрызг-бетонная с анкерами	+	+	+	+	-	-	-	-	-
железобетонная			+		+	+	+	+	+
Комбинированная:									
внутренняя железоторкретная оболочка, наружный монолитный бетон					+				
внутренняя стальная оболочка, наружный монолитный бетон или железобетон						+			+
внутренняя железобетонная оболочка, наружное сборное железобетонное кольцо				+			+	+	
* В том числе безнапорные туннели.									
П р и м е ч а н и я									
1 Значение «+» означает возможность применения, знак «-» недопустимость применения									
2 Применение обделок других видов, не приведенных в таблице, допускается при надлежащем обосновании									

7.19 Минимальную толщину обделок гидротехнических туннелей следует принимать не менее, см:

для монолитных бетонных и железобетонных 20

10

10

- :

10

5

5

7.20

(7) , 0,5 %.

0,3 %, $f < 4$,
 $f \cdot 4 - 0,15 \%$.

1 %.

7.21

(60 – 70 %)

25 .

7.22

30 ;
40 » » » » 50 »;
50 » » » » 50 ».

10 .

10

10

50 .

7 23

()

« »

() -

7.24

7.25

7.26

30°)

7.27

7.28

7.29

7.30

7.31

8

8.1

;

,

,

;

;

8.2

8.3

8.4

8.5

8.6

8.7 ()

8.8

(),

8.9

8.10 (,),

8.11

8.12

8.13

,

102.13330.2012

8.14

, ,

.

8.15

:

;

;

,

;

,

;

.

8.16

,

,

,

,

.

8.17

,

,

.

,

,

8.18

.

,

,

,

8.19

,

.

,

,

,

,

9

9.1

,

/

,

,

,

,

.

9.2

:

;

;

,

;

9.3 (,) , , - . ,

94 () : ; , ; () ;

9.5 (3), : , ; - , ; , ;

9.6 , , , , : , , ; ,

97 (,) , , ,

9.8 , .

9.9

14 13330

9.10 : ; ; ;

Т а б л и ц а 3

Типы дренажных систем гидротехнических туннелей	Область применения	Основные требования при проектировании
Дренажные туннели: однорядные многоярусные	В однородных породах При переслаивании водопроницаемых и водонепроницаемых пород (при наличии нескольких водоносных горизонтов)	<p>1 Размеры дренажных туннелей определяются расходом пропускаемой ими воды, условиями строительства и эксплуатации</p> <p>2 В плане в зависимости от местных условий выполняются: прямолинейными и криволинейными (полигональными); замкнутыми и незамкнутыми непрерывными и поучастковыми</p> <p>3 Располагаются с верховой стороны потока грунтовых вод, чтобы полнее его перехватывать</p> <p>4 В лотковой части следует устраивать водоотводящую канаву, обеспечивающую полный сток дренажных вод</p> <p>5 Уклон дна должен назначаться из условий: недопущения размыва и заиливания водоотводящих канав; удобства производства работ по проходке туннеля и его эксплуатации</p> <p>6 Крепление выработки назначается в зависимости от прочности пород, учитывая необходимость иметь большую водопроницаемость обделки; в крепких и устойчивых породах дренажные туннели допускается оставлять незакрепленными</p> <p>7 При длине более 200 м должны предусматриваться ниши-убежища выше подошвы на 0,5 м через каждые 100 м в шахматном порядке</p>

Продолжение таблицы 3

Типы дренажных систем гидротехнических туннелей	Область применения	Основные требования при проектировании
<p>Скважинный дренаж:</p> <p>вертикальные восходящие скважины</p> <p>вертикальные нисходящие скважины</p> <p>горизонтальные и слабонаклонные скважины</p> <p>лучевые (горизонтальные, вертикальные и наклонные скважины)</p>	<p>Наличие нескольких водоносных горизонтов</p> <p>1 Наличие нескольких водоносных горизонтов</p> <p>2 Расположение ниже гидротехнического туннеля пластов с большой водопроницаемостью и незначительными напорами грунтовых вод: система скважин, прорезающих дренируемый массив и нижележащий проницаемый пласт, снижает свободную поверхность грунтовых вод (или их пьезометрическую поверхность)</p> <p>Слоистые породы с крутопадающими пластами максимальный эффект достигается, если дрены расположены нормально к пластам</p> <p>При большом объеме водонасыщенной породы</p>	<p>1 Устья скважин должны быть доступны для осмотра, монтажно-демонтажных работ и измерения дебита и напора</p> <p>2 Устья скважин, направленных наклонно или вертикально вниз, должны быть надежно предохранены от попадания в них поверхностных вод и посторонних предметов</p> <p>3 Длину скважин следует принимать до 100 м, диаметр скважины в пределах 50-150 мм</p> <p>4 Нерабочие участки скважин, проходящие в слабых породах, необходимо закреплять обсадными трубами (из нержавеющей стали, чугунными, асбоцементными, пластмассовыми)</p> <p>5 Лучевые скважины бурятся в виде пучка или веерообразно из специальных ниш, камер и шахт или непосредственно из выработки туннелей</p>
Шпуровой дренаж	Для разгрузки обделок туннелей от давления грунтовых вод	<p>1 Выполняется в виде системы шпуров диаметром 50-100 мм и длиной в несколько метров</p> <p>2 При равномерной трещиноватости породы шпуры пробуриваются нормально к поверхности обделки</p> <p>3 При неравномерной трещиноватости (слоистости) и фильтрационной анизотропии породы шпуры следует ориентировать с учетом этих особенностей</p>

Продолжение таблицы 3

Типы дренажных систем гидротехнических туннелей	Область применения	Основные требования при проектировании
Трубчатый дренаж (продольный, поперечный, комбинированный)	1 Контакт бетонных (железобетонных) обделок с породой или металлической облицовкой 2 Внутри бетонных (железобетонных) обделок	Выполняются в виде: цилиндрических полостей, создаваемых извлекаемыми полостеобразователями перфорированных труб, обмотанных стеклотканями, или труб из пористого материала, оставляемых в обделках скважин, пробуренных в бетоне
Ленточный дренаж (продольный, поперечный)	Безнапорные туннели	1 Выполняется на контакте породы с обделкой в виде полостей, заполненных фильтрующим материалом: песком, гравием, щебнем, стекловатой, шлаковатой, пористым бетоном (сборным или монолитным). Вяжущие для пористого бетона (цемент, битум, полимерные смолы) должны назначаться в зависимости от химического состава грунтовой воды 2 Размещается в породе в специальных нишах (штрабах, канавах, траншеях) или в пределах сечения обделки туннеля 3 Прискальные ленточные дрены выполняются с использованием резиновых лент или гибких пластмассовых перфорированных труб (в местах крутых поворотов и изгибов дрен гофрированных труб), прикрытых шлаковатым ковром и прижатых к скале сеткой, закрепленной специальными анкерами. Для защиты шлаковатного ковра от механического воздействия бетонной смеси (набрызг-бетона) его следует покрывать хлорвиниловой пленкой
Сплошной дренаж	Устойчивые породы, характеризующиеся умеренной водопроницаемостью	Выполняется в виде: прослойки из фильтрующего материала (песок, гравий, щебень, пористый бетон, шлаковата, стекловата и т.п.), расположенных по контакту обделки с породой полостей между породой и несущей (декоративной) облицовкой открытой необлицованной поверхности породы

Окончание таблицы 3

Типы дренажных систем гидротехнических туннелей	Область применения	Основные требования при проектировании
Дренаж в виде разгрузочных отверстий (коротких шпуров) в обделке туннеля	1 Для разгрузки обделок туннелей от давления грунтовых вод, организованного их отвода в местах мокрых пятен и течей, обнаруживаемых во время эксплуатации туннеля 2 Для разгрузки металлических облицовок в напорных туннелях при их опорожнении 3 При малопроницаемых скальных породах	Выполняется в виде отверстий, разбуриваемых в обделке с заглублением в породу на 50–60 см. При наличии металлической облицовки разгрузочные отверстия рассверливаются с некоторым заглублением в бетон обделки, после чего завариваются в пределах толщины облицовки
Комбинированные дренажи	При различии условий применения разных типов дренажных систем (см. 9.5) на трассе туннеля	В зависимости от геологических, гидрогеологических условий, а также конструктивных особенностей туннеля на различных его участках применяются соответствующие типы дренажных систем

9.11 Выпуск дренажной воды внутрь гидротехнических туннелей допустим при соблюдении следующих условий:

внутренний напор в туннеле не превосходит минимального напора грунтовых вод;

отсутствует опасность загрязнения транспортируемой по туннелю воды вредными продуктами выщелачивания горных пород;

скорость воды в туннеле и конструкция выпусков исключают возможность возникновения кавитации;

передача пульсационного давления потока в дренажи не представляет для них опасности;

замерзание воды в туннеле не приводит к нарушению работы дренажа.

9.12 Отвод воды на дневную поверхность следует производить на участки местности, с которых невозможна подпитка грунтовых вод в районе дренируемого сооружения.

При наличии вспомогательных выработок, устраиваемых на период строительства, следует рассматривать возможность их использования для отвода грунтовых вод

9.13 Сброс дренажной воды в нижерасположенные пласты породы допускается, если они имеют достаточную поглощающую способность, и дополнительная подпитка пласта не вызовет отрицательных последствий (например, загрязнения подземных вод, создания со временем подпора подземных вод).

102.13330.2012

9.14

9.15

9.16

9.17

9.18

9.19

9.20

9.21

9.22

4.

Примечания

- 1 Данные таблицы 4 относятся к цементным растворам в скальной породе
- 2 Под термином «зона противифльтрационной цементации» понимается объем зацементированной породы в пределах проектного очертания зоны цементации
- 3 Под средним градиентом напора понимается отношение потери напора в зоне противифльтрационной цементации к толщине этой зоны
- 4 В цементации, замкнутой вокруг туннеля, максимальный градиент напора J_{\max} на внутреннем контуре зоны цементации разрешается принимать в два раза больше среднего градиента. Максимальный градиент определяют по формуле

$$J_{\max} = \frac{H}{r} / \ln \frac{R}{r}, \quad (1)$$

где r, R – радиусы соответственно внутреннего и внешнего контура цементации.

Таблица 4

$H, \text{ м}$	При обеспечении плотности (водопроницаемости) зоны цементации с удельным водопоглощением $q, \text{ л/мин} \cdot \text{м}^2$, не более	При коэффициенте фильтрации $k, \text{ м/сут.}$, не более	Допустимый средний градиент $J_{\text{доп}}$
Менее 30	0,05	0,05	10
От 30 до 100	0,03	0,03	15
Более 100	0,01	0,01	20

9.23 Если к цементации предъявляется требование защиты обделок от агрессивного воздействия грунтовых вод или защиты от фильтрации в растворимых породах, то удельное водопоглощение не должно быть более $0,01 \text{ л/мин} \cdot \text{м}^2$.

10 Нагрузки, воздействия и их сочетания

10.1 Нагрузки, воздействия и их сочетания принимаются в соответствии с требованиями СП 58.13330, а также СП 20.13330 и СП 14.13330.

10.2 К постоянным нагрузкам и воздействиям относят:

- горное давление;
- вес обделки;
- воздействия предварительного напряжения.

10.3 К временным длительным нагрузкам относят:

внутреннее давление воды в туннеле при нормальном подпорном уровне воды в водохранилище;

давление подземных вод.

10.4 К кратковременным нагрузкам и воздействиям относят:

пульсационные составляющие давления потока воды;

внутреннее давление воды, возникающее от гидравлического удара при нормальной эксплуатации туннеля;

температурные климатические воздействия;

давление раствора на обделку при цементации;

давление от механизмов при производстве работ.

10.5 К особым нагрузкам и воздействиям относят:

сейсмические и взрывные воздействия;

внутреннее давление воды в туннеле при форсированном подпорном уровне в водохранилище или от действия гидравлического удара при полном сбросе нагрузки;

усилия, возникающие вследствие изменения температуры, набухания и усадки бетона, ползучести грунтов;

давление раствора на стальную оболочку при цементации;

давление на стальную оболочку от свежесуложенного бетона;

давление гидравлического испытания (для стальных оболочек).

10.6 В статических расчетах туннельных обделок нагрузки и воздействия надлежит принимать в следующих сочетаниях:

основные, составляемые из постоянных, временных (длительных и кратковременных) нагрузок и воздействий;

особые, составляемые из постоянных, временных (длительных, некоторых кратковременных) и одной из особых нагрузок и воздействий.

10.7 Нагрузки и воздействия следует принимать в наиболее неблагоприятных, но возможных сочетаниях отдельно для строительного, эксплуатационного и ремонтного периодов.

10.8 Коэффициенты надежности по нагрузкам γ_f при расчете обделок туннелей на прочность и устойчивость (предельные состояния первой группы) следует принимать по таблице 5

При расчетах по предельным состояниям второй группы коэффициент надежности по нагрузкам следует принимать равным 1.

10.9 Определение горного давления, а также естественного напряженного состояния грунтового массива необходимо выполнять согласно 10.10 – 10.17 и на основании опыта строительства и эксплуатации туннелей в аналогичных инженерно-геологических условиях.

Горное давление допускается принимать равным давлению, оказываемому массой грунта в объеме нарушенной зоны, определенной геофизическими измерениями.

Для безнапорных туннелей I класса и напорных туннелей I и II классов значения горного давления должны быть уточнены на стадии рабочей документации на основании натурных исследований на участках с характерными инженерно-геологическими условиями.

Т а б л и ц а 5

Нагрузки и воздействия	Коэффициент надежности по нагрузкам γ_f
Вертикальное горное давление:	
от веса грунтов при сводообразовании	1,5
от веса всей толщи грунтов над туннелем или от веса нарушенной зоны	1,1 (0,9)
Горизонтальное горное давление	1,2 (0,8)
Вес обделки	1,2 (0,9)
Внутреннее давление воды (с учетом гидравлического удара)	1,0
Давление:	
пульсации потока воды	1,2
подземных вод	1,1 (0,9)
раствора при цементации	1,2 (1,0)
от механизмов	1,2
<p>П р и м е ч а н и е Значения коэффициентов надежности по нагрузкам, указанные в скобках, относятся к случаям, когда применение меньшего значения коэффициентов приводит к невыгодному случаю загрузки обделки туннеля.</p>	

10.10 Нормативное вертикальное горное давление в грунтах с $f < 4$ при расстоянии от кровли выработки до дневной поверхности больше удвоенной высоты свода обрушения следует принимать равным давлению, оказываемому массой грунтов в объеме, ограниченном сводом обрушения. При меньшем заглублении туннеля горное давление принимается равным давлению всей толщи грунта над ним.

10.11 Нормативное вертикальное горное давление g_{qzn} , кН/м², при сводообразовании в грунтах с коэффициентом крепости $f < 4$ следует определять по формуле

$$g_{qzn} = \beta \rho g h_q, \quad (2)$$

где β – коэффициент, принимаемый в зависимости от пролета выработки b равным:
0,7 при $b \leq 5,5$ м; 1,0 при $b \geq 7,5$ м; интерполяцией между 0,7 и 1,0 при $5,5 < b < 7,5$ м;

ρ – плотность грунта, т/м³;

$g = 9,81 \approx 10$ м/с²;

h_q – высота свода обрушения, м; определяется по формуле

$$h_q = \frac{b_q}{2f};$$

b_q – пролет свода обрушения, м; определяется по формуле

$$b_q = b + 2htg(45^\circ - \frac{\varphi}{2});$$

h – высота выработки, м;

φ – кажущийся угол внутреннего трения ($\varphi = \arctg f$).

Распределение вертикального горного давления принимается равномерным по пролету туннеля.

10.12 Нормативное вертикальное горное давление g_{qzn} , кН/м², в грунтах с $f \geq 4$ следует принимать равным давлению грунтов в объеме нарушенной зоны, установленной по данным натурных исследований, а при их отсутствии – по формуле

$$g_{qzn} = \beta \rho g h_{q1}, \quad (3)$$

где $h_{q1} = k_a b$ – глубина нарушенной зоны, м;

k_a – коэффициент, принимаемый по таблице 6 в зависимости от трещиноватости пород.

Т а б л и ц а 6

Коэффициент крепости грунта f	Коэффициент k_a при породах		
	очень слаботрещиноватых ($M_f < 1,5$)	слаботрещиноватых ($1,5 \leq M_f < 5$)	средне- и сильнотрещиноватых ($5 \leq M_f < 30$)
4	0,2	0,25	0,3
От 5 до 8	0,1	0,2	0,25
10 и более	0,05	0,1	0,15

Распределение вертикального горного давления по пролету обделки принимается с учетом напластования, систем трещин и других особенностей грунтового массива.

10.13 : $\frac{g_{qzn}}{k}$ 20 %
30 %
 $g_{qzn} / ^2$,

$$f < 4 -$$

$$g_{qzn} = g(h_q + 0,5h) \text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}); \quad (4)$$

$$f < 4 - \quad (4) \quad h_q$$

10.14

$$\frac{f}{6} = \frac{4}{-} \quad 6$$

$f < 4$

$$g_{qzn} = 0,1 gh \quad (5)$$

10.15 (400)

10.16

$$f < 4,$$

91.13330,

10.17 (

10.18)

10.19 1.

предусмотренными для этих целей дренажными устройствами и цементационными завесами

10.20 При проектировании гидротехнических туннелей, располагаемых в многолетнемерзлых грунтах, необходимо учитывать влияние изменений температурного режима грунтов на их несущую способность, а также устойчивость и сопротивляемость грунтов внешним нагрузкам.

11 Основные положения по расчету обделок

11.1 Обделки гидротехнических туннелей, согласно СП 58.13330, следует рассчитывать по методу предельных состояний:

по несущей способности на прочность и в необходимых случаях с проверкой устойчивости формы конструкции (предельные состояния первой группы);

по образованию трещин (трещиностойкости), если трещины не допускаются, или по раскрытию трещин, если раскрытие их допустимо по условиям долговечности обделки туннеля, сохранности грунтового массива, а также по значению фильтрационного расхода воды из туннеля (предельные состояния второй группы).

11.2 Сечения обделок по предельным состояниям первой и второй групп необходимо рассчитывать в соответствии со СП 41.13330 и СП 16.13330

11.3 При расчетах сечений туннельных обделок необходимо вводить следующие коэффициенты:

коэффициенты надежности по назначению сооружения γ_n и сочетаний нагрузок γ_{lc} , принимаемые согласно СП 58.13330;

коэффициент условий работы γ_c , принимаемый для бетонных, железобетонных и сталежелезобетонных обделок по таблице 7, для стальных оболочек – по таблице 8.

11.4 Расчет обделок по несущей способности следует выполнять на возможные наиболее неблагоприятные основные и особые сочетания расчетных нагрузок с применением расчетных характеристик материалов обделок

11.5 Расчет обделок по образованию и раскрытию трещин должен осуществляться на основные сочетания нормативных нагрузок без учета гидравлического удара с применением нормативных характеристик материалов обделок.

11.6 Расчет обделок гидротехнических туннелей всех типов (включая фасонные части комбинированных обделок) следует выполнять с учетом отпора грунтов. Исключения допускаются при расположении туннелей в слабых неустойчивых грунтах. При расположении туннелей на глубине менее трех диаметров (пролетов) над шельгой свода давление, передаваемое на грунт обделкой туннеля, не должно превышать давления, оказываемого всей массой грунта над туннелем

Т а б л и ц а 7

Обделки	Коэффициент условий работы γ_c при расчете по предельным состояниям	
	первой группы	второй группы
Бетонные (в том числе из набрызг-бетона и прессованного бетона)	1,0	0,9 (0,75)
Железобетонные (в том числе предварительно напряженные, из армированного набрызг-бетона и железоторкретные)	1,1	1,3 (1,15)

Окончание таблицы 7

Обделки	Коэффициент условий работы γ_c при расчете по предельным состояниям	
	первой группы	второй группы
Сталежелезобетонные (при расчете на внутреннее давление)	0,9	–

Примечание Значения коэффициентов, указанные в скобках, следует принимать при коэффициенте удельного отпора $K_o < 2000 \text{ Н/см}^3$ (200 кгс/см^3), в грунтах, подверженных суффозии, выщелачиванию, а также при гидрокарбонатной щелочности воды среды менее $0,25 \text{ мг-экв/л}$

Таблица 8

Давление	Участки стальных оболочек	Коэффициент условий работы γ_c при сочетании нагрузок	
		основных	особых
Внутреннее	Прямые	0,75 (0,9)	1,0 (1,1)
	Фасонные элементы (колена и разветвления)	0,65 (0,75)	0,8 (0,9)
Наружное	Все участки	0,75	0,9

Примечания

- Значения коэффициента γ_c , указанные в скобках, должны приниматься:
 - для комбинированных обделок с наружным монолитным железобетоном (сталежелезобетонных);
 - для комбинированных обделок с наружным монолитным бетоном при одновременном выполнении следующих условий:

$$p_{wi} \leq 0,15 \cdot 10^{-2} K_o;$$

$$p_{wi} \leq 10^{-3} \rho g h_{qz} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha),$$
 где p_{wi} – внутреннее давление воды в напорном туннеле, МПа;
 h_{qz} – кратчайшее расстояние от оси туннеля до поверхности земли, м;
 $\mu = 0,7$ – коэффициент трения грунта по грунту;
 α – угол между нормалью к поверхности земли и горизонтом, град;
 K_o – коэффициент удельного отпора грунта, Н/см^3 , определяемый по 11.13;
- При использовании коэффициента γ_c по данной таблице коэффициент сочетаний нагрузок γ_c следует принимать равным 1.

11.7 Расчеты обделок гидротехнических туннелей могут выполняться методами строительной механики, а также методами механики сплошной среды. В последнем случае следует использовать известные численные методы, позволяющие учесть сложное геологическое строение основания, анизотропию и нелинейные свойства грунтовых материалов.

Расчет необходимо выполнять в соответствии с 10.4 и 10.5 на каждое из сочетаний нагрузок. Сложение эпюр усилий от отдельных нагрузок для получения суммарной эпюры не допускается.

11.8 Бетонные обделки безнапорных туннелей следует рассчитывать на прочность в предположении образования в обделке пластических шарниров и проверять на трещиностойкость по предельным состояниям второй группы.

11.9 При расчете обделок по предельному состоянию второй группы предельную ширину раскрытия трещин обделок напорных и безнапорных туннелей I и II классов следует принимать по таблице 9.

Т а б л и ц а 9

Градиент напоров воды в обделке J_H	Предельная ширина раскрытия трещин, мм, из условия					
	долговечности бетона при гидрокарбонатной щелочности воды-среды, мг-экв/л			сохранности арматуры при суммарной концентрации ионов Cl^- и SO_4^{2-} мг/л		
	0,25	1	2 и более	до 100	200	400–1000
Напорные туннели и незатопляемые части безнапорных туннелей при наличии подземных вод						
5	0,1	0,18	0,35	0,4	0,35	0,3
50	0,07	0,15	0,32	0,4	0,35	0,3
300	0,05	0,12	0,23	0,3	0,25	0,2
Незатопляемые части обделок безнапорных туннелей при отсутствии подземных вод						
	Не ограничивается			0,2	0,15	0,1
<p>П р и м е ч а н и я</p> <p>1 Водой – средой, определяющей долговечность бетона и арматуры в обделке, являются: при $H_i > H_{e1}$ вода внутри туннеля; при $H_i < H_{e1}$ подземная вода.</p> <p>2 Для туннелей III, IV классов предельные значения раскрытия трещин следует принимать соответственно в 1,3 и 1,6 раза большими, чем значения, приведенные в таблице, но не более 0,5 мм.</p>						

11 10 Градиент напора J_H в обделках принимают в зависимости от коэффициента фильтрации k грунта:

$$J_H = 1 \text{ при } k \leq 10^{-4} \text{ см/с;}$$

$$J_H = \frac{H_i - H_{e1}}{h_k} \text{ при } k \geq 10^{-2} \text{ см/с,}$$

где H_i – внутренний напор воды, м;

H_{e1} – напор подземных вод, м;

h_k – толщина обделки, м

В интервале $10^{-4} < k < 10^{-2}$ значение J_H определяется интерполяцией

11 11 Для затопляемых частей обделок безнапорных туннелей по условиям долговечности бетона и сохранности арматуры ширина раскрытия трещин не ограничивается.

11.12 Статические расчеты обделок следует выполнять с учетом трещинообразования и пластических деформаций:

обделки безнапорных туннелей и опорожненных напорных туннелей по предельным состояниям первой и второй группы рассчитывают с учетом жесткости бетонного сечения при модуле упругости бетона в конструкции $E_k = 0,7E_b$;

обделки напорных туннелей на эксплуатационные нагрузки по предельным состояниям первой группы рассчитывают с учетом жесткости арматурного сечения $E_k = E_a$.

По предельным состояниям второй группы обделки напорных туннелей следует рассчитывать:

нетрещиностойкие с учетом жесткости арматурного сечения $E_k = E_a$;

трещиностойкие с учетом жесткости бетонного сечения при $E_k = 0,7E_b$

11.13

E_q () ,
 () ,

E_q

$$E_q = K (1 + v), \tag{6}$$

$$K = Kr_e - \frac{K - r_e}{r_e - r_e} , \quad / \quad ^2;$$

1,4,

11.14

K E_q I II

()

III IV

11.15

11.16

K

2

$$f \leq 10,$$

2,

30 %.

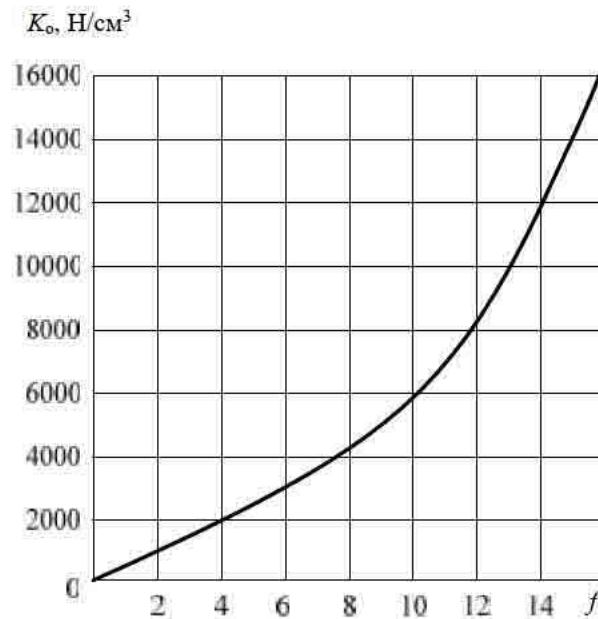


Рисунок 2 – График зависимости коэффициента K_0 от коэффициента крепости грунта f для трещиноватых грунтов

11.17 В расчетах обделок туннелей необходимо учитывать совместную работу временной крепи с обделкой.

11.18 При назначении расчетной схемы обделки туннеля и грунтового массива следует учитывать последовательность разработки грунта и возведения элементов обделки.

11.19 При параллельном расположении нескольких туннелей в расчете обделки на прочность необходимо учитывать изменения напряженного состояния и прочностных свойств грунтового массива, вызванных проходкой соседних туннелей.

11.20 Расчет бетонных и железобетонных обделок туннелей на температурные воздействия следует выполнять при расчетной разности температур более 30°C с учетом набухания и ползучести бетона.

11.21 При расчете обделок напорных и безнапорных туннелей противодействие воды в швах бетонирования и в сечениях между швами бетонирования не учитывается.

В сухих и водонасыщенных, практически водопроницаемых грунтах с коэффициентом фильтрации $K_f \leq 10^{-3} \text{ см/с}$ и напоре подземных вод, не превышающем внутренний напор воды в туннеле, значение противодействия подземных вод на нетрещиностойкие обделки P допускается определять по формуле

$$P = (H_i - J_H h_k) \gamma_f,$$

где J_H – градиент напора в обделке, определяемый по 11.10;

h_k – толщина обделки;

γ_f – коэффициент надежности по нагрузкам, принимаемый равным 0,9

11.22 Толщину лотка и стен туннеля, подверженных воздействию влекаемых и взвешенных насосов, следует назначать с учетом возможности истирания.

11.23 При проектировании высоконапорных водосбросных туннелей и их затворных камер необходимо производить следующие расчеты, связанные с протеканием высокоскоростного потока:

11.24 , ; , P/K 1/7 ,

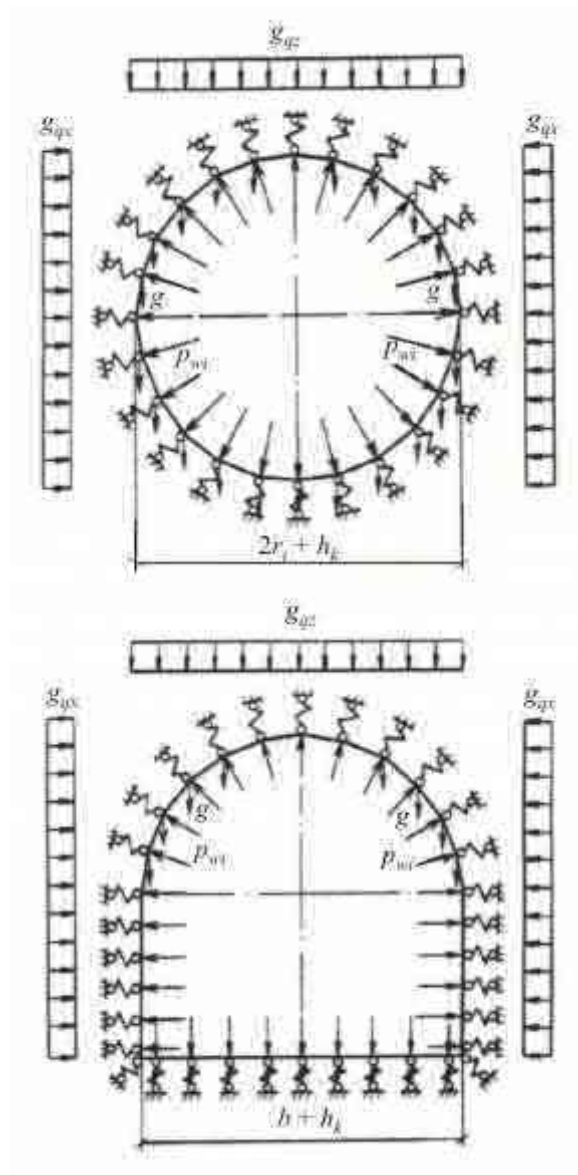
11.25 , I 60² (,).

11.26 (, ,),

()

.1

.1.



.1

(10,

11.13 11.16. 11.12,

s 41.13330.

.2 , , -

s, ², 1 :

$$h_{qz} \geq \frac{\gamma_c K r_i R_s}{\gamma_{lc} \gamma_n \rho g r_e E_s} \quad (.1)$$

$$A_s = \frac{\gamma_n \gamma_{lc} P_{wi} r_i}{\gamma_c R_s} - \frac{A_{ss} R_y}{R_s} - \frac{K r_i}{E_s}, \quad (.2)$$

(1) -

$$A_s = \frac{\gamma_n \gamma_{lc} P_{wi} r_i}{\gamma_c R_s} - \frac{A_{ss} R_y}{R_s} - \frac{\rho g h_{qz} r_e}{100 \gamma_c R_s}, \quad (.3)$$

P_{wi} - ;
 h_{qz} - ;
 R_s, E_s - ;
 A_{ss} - , ², 1 ;
 R_y - , 16.13330,
 ;
 - , / ³;
 ρ - , / ³;
 $\gamma_c, \gamma_n, \gamma_{lc}$ - 11.3.
 (.2) (.3) $A_s < 0$ (. .

A_s),
 7 18

А.3 Расчет стальных оболочек комбинированных обделок с наружным монолитным бетоном

А.3.1 Марки стали для стальных оболочек и колец жесткости следует принимать по таблице А.1.

А.3.2 Стальные оболочки следует рассчитывать на действие внутреннего давления воды в туннеле, наружного давления подземных вод, раствора (при цементации) и свежеложенного бетона с учетом температурных воздействий, а также на действие собственного веса и нагрузок от механизмов при монтаже оболочки. При расчете стальных оболочек действие горного давления не учитывается.

Т а б л и ц а А.1

Марка стали	ГОСТ	Толщина листового проката, мм	Категория стали при расчетной температуре t , °С		
			$t \geq -40$	$-40 > t \geq -50$	$-50 > t \geq -65$
СтЗГпс	ГОСТ 14637 ГОСТ 380	10 30	5		
Ст5Гпс	ГОСТ 14637	10 30	2		
09Г2	ГОСТ 19282	10 32	12		
09Г2С	ГОСТ 19282	10 60	12	13	15
10ХСНД	ГОСТ 19282	10 40	12	13	15

Примечания
 1 Знак « » означает, что данную марку стали при указанной расчетной температуре применять не следует.
 2 При надлежащем технико экономическом обосновании допускается применять сталь других марок.

Коэффициент надежности по нагрузке γ_f , коэффициент надежности по назначению сооружения γ_n и коэффициент условий работы γ_c следует принимать согласно требованиям 10.8 и 11.3.

Примечание – Значение коэффициента условий работы γ_c приведены для расчета стальных оболочек без учета местных напряжений.

А.3.3 Расчет на прочность стальных оболочек следует выполнять по формуле

$$\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_z + \sigma_z^2} \leq \frac{\gamma_c R}{\gamma_n}, \quad (\text{А.4})$$

при этом необходимо соблюдать условия:

$$\sigma_x \leq \frac{R \gamma_c}{\gamma_n}; \quad \sigma_z \leq \frac{R \gamma_c}{\gamma_n},$$

где σ_x, σ_z – нормальные напряжения соответственно в поперечном и продольном сечениях оболочки, МПа;

R – расчетное сопротивление, МПа, принимаемое при расчетах на внутреннее давление с учетом отпора грунта равным $\frac{R_u}{\gamma_u}$, а при расчетах на внутреннее давление без учета отпора грунта и на наружное давление – R_y ;

$R_u, R_y -$, , , , ,

16 13330;

$\gamma_u -$, , 1,3.

.3.4 $\sigma_z,$, :
:

$$\sigma_z = \frac{p_{wi}r_m + a_r K_{or}}{t + 4,33 \cdot 10^{-6} r_m K_{or}}, \quad (.5)$$

$p_{wi} -$, ;
 $r_m -$, ;
 $t -$, ;
 $a_r -$, / , 3 ;
 $K_{or} -$, / , 3 ;

$$K_{or} = \frac{1}{\frac{1}{E_b} \ln \frac{r_e}{r_m} + \frac{1}{K_o}}; \quad (.6)$$

$r -$, ;
 $E_b -$, ;

) $\frac{a_r}{r_m} \geq 4,33 \cdot 10^{-6} \frac{p_{wi}r_m}{t}$

$$\sigma_z = \frac{p_{wi}r_m}{t} \quad (.7)$$

.3.5 $r,$,

$$a_r = a_{r1} + a_{r2} + a_{r3}, \quad (.8)$$

$a_{r1}, a_{r2}, a_{r3} -$, , .
 a_{r1}

$$a_{r1} = 15,6 \cdot 10^{-6} r_m (t_{max} - t_{min}), \quad (.9)$$

$t_{max} -$, ° ;
 $t_{min} -$, ° .
 a_{r2} , $a_{r3},$

$$a_r = 3 \cdot 10^{-4} r_m \quad (.10)$$

3.6 σ_z ,

$$\sigma_z = \frac{P_{we} r_m}{t}, \tag{.11}$$

P_{we} – ,
3.7 ,
:

$$\sigma_{x1} = -2,52t_d, \tag{.12}$$

t_d – , ° ;

$$\sigma_{x2} = 0,3\sigma_z. \tag{.13}$$

3.8 t_d :

$$t_d = t_{\max} - t_{b,\min}, \tag{.14}$$

$$t_d = t_{\min} - t_{b,\max}, \tag{.15}$$

t_{\max}, t_{\min} – , ° ;

$t_{b,\max}, t_{b,\min}$ – , ° .

3.9 (, 10°),

3.10

P_{we} ,

$$P_{we} < \frac{\gamma_c P_{cr} \zeta}{\gamma_n}, \tag{.16}$$

P_{cr} – , ;
 ζ – .2.

$$\frac{P_{cr} r_m}{t R_{yn}} > 2,5$$

$$P_{cr} \zeta = \frac{R_{yn} t}{r_m}, \tag{.17}$$

R_{yn} – , .

Т а б л и ц а А.2

$p_{cr}r_m / tR_{ym}$	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5
ζ	1	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4

А.3.11 Критическое наружное давление при отсутствии колец жесткости и при $\frac{l}{r_m} > 2$ (где l – расстояние между кольцами, см) следует определять по графикам на рисунке А 2 Разрешается также в этом случае выполнять расчет на устойчивость по стандартным программам на ЭВМ.

А.3.12 Критическое наружное давление p_{cr} , МПа, при наличии колец жесткости следует определять по формулам:

при $0,5 \leq \frac{l}{r_m} \leq 2$

$$p_{cr} = 0,92E_s \frac{t}{l} \left(\frac{t}{r_m} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (\text{A.18})$$

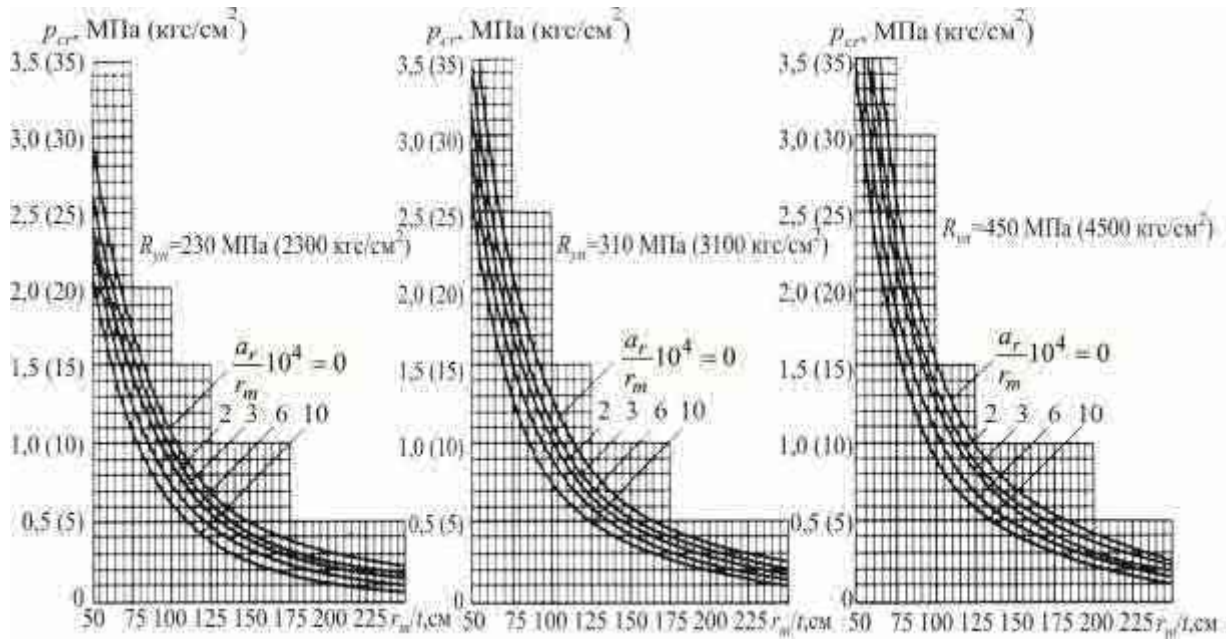
при $\frac{l}{r_m} < 0,5$

$$p_{cr} = E_s \frac{t}{r_m} \left[\frac{1}{n_w^2 m^2} + 0,092 \left(\frac{t}{r_m} \right)^2 n_w^2 \left(1 + \frac{2}{m} \right) \right], \quad (\text{A.19})$$

где E_s – модуль упругости стали, МПа;

n_w – число волн, образующихся при смятии оболочки, подбираемое таким образом, чтобы получить минимальное значение p_{cr} ;

$$m = 1 + \left(\frac{n_w l}{\pi r_m} \right)^2$$



$(R_{yn} -$, ;
 a_r , ;
 $r_m -$,)
 $.2 -$ p_{cr}
 r_m / t

3.13

$$\gamma_n \frac{p_{we} l_s r_m}{\gamma_c A_r} \left(1 + \frac{y_r}{r_r} \chi \right) + \frac{y_r E_s a_r}{r_r^2} \chi \leq R_y, \quad (.20)$$

$y_r -$, ;
 $\chi -$, 3
 :

$$p_{rel} = \frac{\gamma_n p_{we}}{\gamma_c E_s \left[0,092 \left(\frac{t}{r_m} \right)^3 + \frac{J_r}{r_r^3 l} \right]}; \quad (.21)$$

$$a_{rel} = \frac{a_0}{a_r + \frac{p_{we} l_s r_m r_r \gamma_n}{\gamma_c E_s A_r}}, \quad (.22)$$

r_r, A_r, J_r – соответственно радиус центральной оси, см, площадь, см², и момент инерции поперечного сечения кольца с присоединенным пояском длиной $l_s = 1,56\sqrt{r_m t} + t_r$, см⁴;

$a_0 = 0,0025r_m$ – начальное отступление радиуса кольца от теоретического

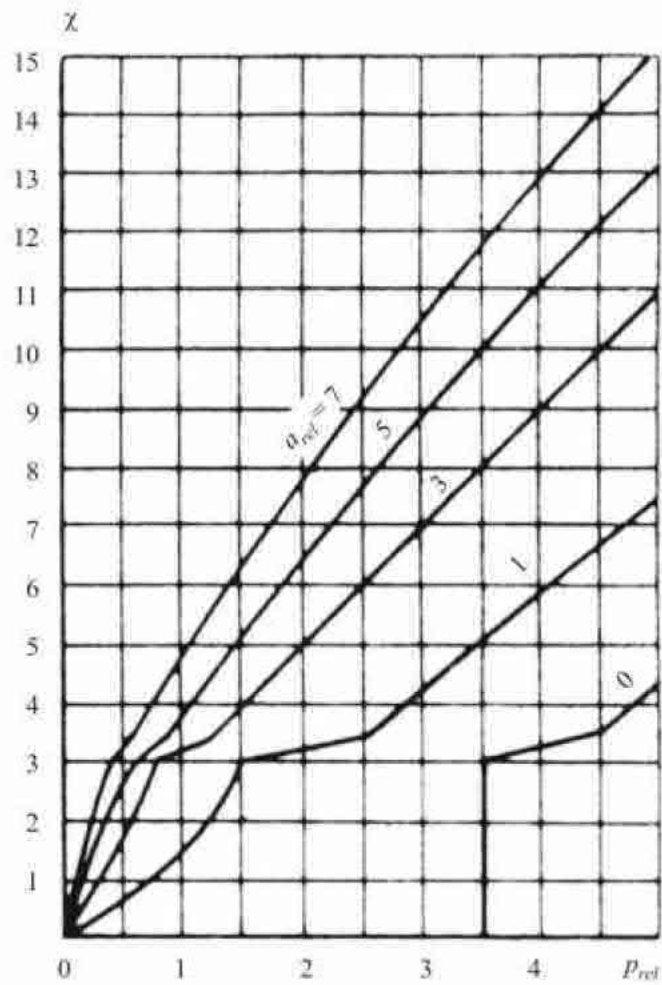


Рисунок А.3 График зависимости коэффициента χ от p_{rel} при $a_{rel} = const$

Приложение Б
(рекомендуемое)

Расчет обделок туннелей по предельным состояниям второй группы при предварительных расчетах

Б.1 Расчет бетонных и железобетонных обделок произвольного очертания

Расчет следует выполнять на основное сочетание нормативных нагрузок в соответствии с разделами 10 и 11 с учетом коэффициента отпора грунта, жесткость сечения принимается согласно 11.12.

По полученным усилиям (изгибающий момент и нормальная сила) необходимо выполнить расчет по образованию и раскрытию трещин.

Трещиностойкие обделки, проектируемые для условий, отвечающих 7.15, следует проверять по СП 41.13330.

Б.2 Расчет трещиностойких бетонных и железобетонных обделок напорных туннелей кругового очертания на начальных стадиях проектирования

Толщину обделки h_k , см, следует вычислять по формулам: при коэффициенте удельного отпора грунта $K_o < 2000 \text{ Н/см}^3$

$$h_k = \frac{r_i}{1 + \frac{30\mu}{R_{btm}}} \left(\frac{p_{win}}{\gamma_c R_{btm}} - \frac{K_o}{E_k} \right), \quad (\text{Б } 1)$$

где p_{win} – нормативное внутреннее давление воды, МПа;

E_k – модуль упругости материала обделки, принимаемый равным $0,7 E_b$, МПа;

R_{btm} – нормативное сопротивление материала обделки на растяжение, принимаемое по СП 63.13330 в соответствии с классом бетона, МПа;

μ – коэффициент армирования сечения;

в очень слаботрещиноватых грунтах при $K_o > 2000 \text{ Н/см}^3$

$$h_k = \frac{r_i (p_{win} - K_o \varepsilon)}{\gamma_c R_{btm} \left(1 + \frac{30\mu}{R_{btm}} \right) + K_o \varepsilon}, \quad (\text{Б } 2)$$

где $\varepsilon = 0,25 \cdot 10^{-4} \gamma_c R_{btm} \lg(0,05 K_o + 10)$

Б.3 Расчет трещиностойких обделок из набрызг-бетона на внешнее давление

Толщину несущих обделок из набрызг-бетона h_k , м, следует определять по формуле

$$h_k = 0,35a \sqrt{\frac{g_{qzn} + p_{we}}{\gamma_c R_{btm}}}, \quad (\text{Б } 3)$$

где g_{qzn} – нормативное значение вертикального горного давления (см. 10.12), МПа.

При специальном обосновании допускается определять горное давление из условия объема возможного вывала между анкерами;

p_{we} – остаточное гидростатическое давление воды с учетом снижения уровня подземных вод дренажными или другими мероприятиями, МПа;

R_{btm} – нормативное сопротивление набрызг-бетона на осевое растяжение при проектном классе бетона, определяемом по прочности на растяжение, МПа;

γ_c – коэффициент условий работы, принимаемый равным для армированной обделки – 1, для неармированной – 0,6;

a – шаг анкеров в продольном и поперечном направлениях, принимаемый наименьшим (но не менее 1 м) исходя из условий:

а) образования грунтового свода – по формуле

$$a = l_a - \frac{k_b g_{qzn}}{c} (l_a + b), \quad (\text{Б.4})$$

где $l_a = h_{q1} + l_{q1}$ – длина анкеров, м;

h_{q1} – глубина нарушенной зоны, м (см. 10.12);

l_{q1} – глубина заделки анкеров за пределы нарушенной зоны, принимаемая равной 0,5 – 0,7 м;

b – пролет выработки, м;

c – сцепление грунта, принимаемое по данным натурных исследований; для предварительных расчетов допускается принимать $c = 0,03f$, МПа;

k_b – коэффициент, равный 0,2 – 0,25 для выработок I формы сечения и 0,25 – 0,3 – для остальных форм сечения (см. рисунок 1);

б) устойчивости грунтов между анкерами – по формуле

$$a = \frac{l_a}{3} \sqrt{\frac{c}{g_{qzn}}}; \quad (\text{Б.5})$$

в) прочности закрепления анкера – по формуле

$$a = \sqrt{\frac{N_a}{\rho g h_q}}, \quad (\text{Б.6})$$

где N_a – несущая способность анкера, равная для железобетонных анкеров прочности стержня анкера на разрыв, для остальных анкеров – 80–100 кН;

ρ – плотность грунта, кг/см³

Б.4 Расчет ширины раскрытия трещин в бетонных обделках напорных туннелей кругового очертания

Ширина раскрытия трещин $a_{crс}$, мм, в бетонных обделках туннеля, предусматриваемых в однородных трещиноватых грунтах или других грунтах, укрепленных цементацией, должна определяться по формуле

$$a_{crc} = 100c_{crc} \frac{P_{win}}{K_o}, \quad (\text{Б.7})$$

где $c_{crc} = 0,28 + 625 \frac{P_{win}}{K_o} \leq 1$.

Б.5 Расчет ширины раскрытия трещин в железобетонных обделках напорных и безнапорных туннелей

Ширину раскрытия трещин a_{crc} , мм, в железобетонных обделках напорных и безнапорных туннелей следует рассчитывать по формуле

$$a_{crc} = \alpha \beta \eta \frac{\sigma_s - \sigma_{s0}}{E_s} 7,7(4 - 100\mu) \sqrt{d}, \quad (\text{Б.8})$$

где α – коэффициент, учитывающий влияние трещиноватости скального грунта, сложенного из блоков, и принимаемый в зависимости от модуля трещиноватости M_j : $\alpha = 1$ при $M_j \geq 5$; $\alpha = 2$ при $M_j \leq 1$. В интервале $1 \leq M_j \leq 5$ значения α принимаются интерполяцией;

β – коэффициент, принимаемый для центрально- и внецентренно растянутых элементов – 1,2, для внецентренно сжатых и изгибаемых элементов – 1;

η – коэффициент, принимаемый равным при стержневой арматуре периодического профиля – 1, при гладкой арматуре – 1,4;

σ_s – напряжение в растянутой арматуре без учета сопротивления бетона растянутой зоны сечения, МПа;

σ_{s0} – начальное растягивающее напряжение в арматуре от набухания бетона: для конструкций, находящихся в воде, $\sigma_{s0} = 20$ МПа; для конструкций, подверженных длительному высыханию, в том числе во время строительства, $\sigma_{s0} = 0$;

μ – коэффициент армирования сечения, принимаемый равным $\mu = \frac{A_s}{bh}$, но не более 0,02 (здесь A_s – необходимая площадь сечения арматуры, определяемая согласно приложению А или принимаемая в соответствии с 7.18);

d – диаметр стержней арматуры, мм.

Напряжения в растянутой арматуре σ_s , МПа, следует определять по формулам:

для изгибаемых элементов

$$\sigma_s = \frac{M_n}{A_s z}, \quad (\text{Б.9})$$

для центрально растянутых элементов

$$\sigma_s = \frac{N_n}{A_s}, \quad (\text{Б.10})$$

$$\sigma_s = \frac{N_n(e_t \pm z)}{A_s z}, \quad (.11)$$

$M_n, N_n -$;
 $z -$,

.

, 9.

(.11) «+» ,

«-» - .

()

.1 $Q, / \times , 10$

$$Q = \frac{1}{\frac{h_k}{k_{crc} n_{crc}} + \frac{1}{k M_f}} \leq Q_{adm} 2\pi r_e 10^{-7}, \quad (1)$$

$k_{crc} 1 , 1), (, ^3/$

$$k_{crc} = a_{crc}^3; \quad (2)$$

$n_{crc} - : n_{crc} = 0,0628r ;$

$$n_{crc} = \frac{2\pi r_e 8\mu}{d};$$

$\mu - ;$
 $d - , ;$
 $r - , ;$
 $k - , / ;$
 $M_f ,$

$$M_f = \frac{2\pi}{\ln \frac{r_f}{r_e}}; \quad (3)$$

$r_f - ,$
 $Q_{adm} - , ;$

$: Q_{adm} = 1 / 1000^2 10$
 $; Q_{adm} 0,3 0,5 / 1000^2 100$
 $100 . 10$

.2 $Q_{adm} , / ,$

$$Q_{abs} = \frac{Ql(H_i - H_e)}{10}, \quad (4)$$

$l - 3 ,$

()

f	-														
K	-														
K	-														
K_f	-														
E_q	-														
φ	-														
ρ	-														
M_q	-														
g_{qzn}	-														
g_{qxn}	-														
h_q	-														
b_q	-														
h_{q1}	-														
h_{qz}	-														
M_n, N_n	-														
H_i	-														
H_e	-														
H_{e1}	-														
p_{we}	-														
p_{cr}	-														
p_{wi}	-														
p_{win}	-														
E_k	-														
E_b	-														
E_s	-														
R_{st}	-														
R_{yn}	-														
R_u, R_y	-														

R_{bm} - ;
 R_{bt} - ;
 R_{as} - .

h - ;
 b - () ;
 h_k - ;
 t_b - ;
 r_i - ;
 r_e - ;
 r_m - ;
 r_r - ;
 t - ;
 A_s - ;
 h_0 - ;
 a_c - ;

e_t, e_c - ;
 μ - ;
 d - ;
 A_r - ;
 A_{ss} - ;
 J_r - .

f - ;
 γ_n - ;
 γ_{lc} - ;
 γ_c - .

Ключевые слова: гидротехнические туннели, классы туннелей, трасса, поперечное сечение, конструкции туннелей, механическое оборудование, обделка, дренаж, цементация, нагрузки, основные положения по расчету, предельные состояния

Издание официальное

Свод правил

СП 102.13330.2012

Туннели гидротехнические

Актуализированная редакция

СНиП 2.06.09 84

Подготовлено к изданию ФАУ «ФЦС»

Тел. (495) 930-64-69; (495) 930-96-11; (495) 930-09-14

Формат 60×84^{1/8} Тираж 100 экз. Заказ № 92/13

*Отпечатано в ООО «Аналитик»
г. Москва, Ленинградское ш., д.18*