ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР
ПО ДЕЛАМ СТРОИТЕЛЬСТВА
(ГОССТРОЙ СССР)

УКАЗАНИЯ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТУННЕЛЕЙ

СН 238-73

Заменен СН и П 2.06.09-84
пост № 188 от 14.11.84
БСТ 2-85 с. 10.

Москва 1974

gost.e-ecolog.ru

Издание официальное

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР
ПО ДЕЛАМ СТРОИТЕЛЬСТВА
(ГОССТРОЙ СССР)

УКАЗАНИЯ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТУННЕЛЕЙ

СН 238-73

Утверждены
Государственным комитетом Совета Министров СССР
по делам строительства
29 декабря 1973 г.

Внесены изменения и доп. пост. N 126 от 26.07.79 с 01.01.80 – БСТ N12, 1979г. с. 17-18.

Москва
Стройиздат 1974

УДК 627.842.001.2(083.96)

«Указания по проектированию гидротехнических туннелей» (СН 238-73) разработаны институтами «Оргэнергострой» и «Гидропроект» им. С. Я. Жука с участием Грузинского научно-исследовательского института энергетики и гидротехнических сооружений (ГрузНИИЭГС) и СКБ «Мосгидросталь» треста «Гидромонтаж» Минэнерго СССР.

С введением в действие «Указаний по проектированию гидротехнических туннелей» (СН 238-73) с 1 июля 1974 г. утрачивают силу СН 238-63.

Редакторы: инж. *Е. А. Троицкий* (Госстрой СССР), канд. техн. наук *В. В. Рукин* (Оргэнергострой Минэнерго СССР), д-р техн. наук *В. М. Мостков*, канд. техн. наук *А. Н. Мордовина* и инж. *Г. П. Янчевская* (Гидропроект им. С. Я. Жука Минэнерго СССР)

У 30213—742
047(01)—74 Инструкт.-нормат., 11 вып. — 3—74

© Стройиздат, 1974

Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства (Госстрой СССР)	Строительные нормы	СН 238-73
	Указания по проектированию гидротехнических туннелей	Взамен СН 238-63

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Указания должны соблюдаться при проектировании гидротехнических туннелей, входящих в состав гидроэлектростанций, мелиоративных систем и систем водоснабжения.

Примечания: 1. При проектировании гидротехнических туннелей, в том числе предназначенных для строительства в сейсмических районах, в северной строительно-климатической зоне, в условиях просадочных, набухающих и вечномерзлых грунтов, должны соблюдаться также нормы и правила, предусмотренные другими нормативными документами, утвержденными или согласованными Госстроем СССР.

2. При проектировании других подземных гидротехнических сооружений (зданий гидроэлектростанций, уравнительных резервуаров, шахтных водосбросов и т. п.) допускается пользоваться требованиями настоящих Указаний при надлежащем обосновании.

1.2. Классы гидротехнических туннелей, входящих в состав сооружений гидроэлектростанций и мелиоративных систем, должны устанавливаться по общесоюзным строительным нормам и правилам соответственно на проектирование речных гидротехнических сооружений и мелиоративных систем; классы гидротехнических туннелей, предназначенных для систем водоснабжения, должны соответствовать категориям надежности подачи воды, устанавливаемым общесоюзными строительными нормами и правилами по проектированию водоснабжения.

Внесены Министерством энергетики и электрификации СССР	Утверждены Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства 29 декабря 1973 г.	Срок введения 1 июля 1974 г.

1.3. Гидротехнические туннели в зависимости от назначения относятся к основным, второстепенным и временным сооружениям. К основным сооружениям относятся туннели, предназначенные для постоянного пропуска воды при эксплуатации гидроэлектростанций, мелиоративных систем и систем водоснабжения;

к второстепенным — туннели, предназначенные для периодического пропуска воды (для опорожнения и промыва водоемов и водоводов, водосбросные туннели), за исключением их головных участков до затворов, которые относятся к основным сооружениям;

к временным — туннели, предназначенные для пропуска воды в период строительства или ремонта гидротехнических сооружений.

Примечания: 1. В отдельных случаях, при проектировании крупных гидроузлов с большим сроком продолжительности строительства, строительные туннели допускается относить к второстепенным сооружениям.

2. При проектировании туннелей основного или второстепенного назначения должна быть рассмотрена возможность использования их для пропуска строительных расходов воды.

1.4. Гидротехнические туннели в зависимости от режима работы подразделяются на:

напорные, работающие при избыточном внутреннем давлении воды;

безнапорные (несаморегулирующиеся и саморегулирующиеся), работающие при частичном наполнении водой.

Выбор типа туннеля должен производиться с учетом общей компоновки гидроузла, гидравлического режима его работы, глубины заложения от поверхности земли, инженерно-геологических условий и способа производства работ на основании сравнения технико-экономических показателей по рассматриваемым вариантам.

1.5. В гидротехнических туннелях допускается переменный режим работы при обеспечении постепенного перехода из безнапорного режима в напорный и обратно, что должно быть обосновано данными лабораторных исследований.

1.6. Заполнительная цементация в туннелях с обделкой должна предусматриваться во всех случаях, за исключением туннелей с обделками из набрызг-бетона или прессованного бетона. Укрепительная цементация окружающих туннель пород, а также дренажные устройства должны применяться при соответствующем технико-экономическом обосновании.

1.7. В проектах основных гидротехнических туннелей I, II и III классов должна предусматриваться установка контрольно-измерительной аппаратуры для проведения натурных наблюдений за работой сооружения как в процессе строительства, так и в период его эксплуатации, для оценки состояния обделки туннеля и окружающей его породы, гидравлического и фильтрационного режимов.

Выбор конструкции и назначение количества контрольно-измерительной аппаратуры, а также ее размещение должны производиться в зависимости от класса туннеля, его конструкции, геологических и гидрогеологических условий, а также способов производства работ.

2. ТРАССА И ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ ТУННЕЛЕЙ

2.1. Трасса туннеля (расположение в плане и продольный профиль) и поперечное сечение должны устанавливаться на основании технико-экономического сопоставления вариантов в увязке с компоновкой гидроузла, инженерно-геологическими условиями по трассе, гидравлическими и статическими условиями работы туннеля, а также способами производства работ.

2.2. Технико-экономические расчеты размеров поперечного сечения туннелей гидроэлектростанций производятся аналитическими или графическими методами, позволяющими найти для ряда вариантов оптимальные сечения туннелей.

Примечание При выборе оптимального сечения туннелей допускается пользоваться формулами, дающими непосредственно искомые размеры сечения

2.3. При проведении технико-экономических расчетов по выбору оптимального сечения туннеля гидроэлектростанции должны учитываться гидравлические характеристики туннеля, капиталовложения, ежегодные издержки, а также технико-экономические показатели на заменяемых электростанциях.

Выбор оптимального сечения туннеля производится как с учетом изменения выработки электроэнергии, так и участия гидроэлектростанций в покрытии максимальных нагрузок.

2.4. При проектировании трассы туннеля надлежит по возможности избегать участков, находящихся в неблагоприятных для сооружения туннеля инженерно-геологических и гидрогеологических условиях (значительные тектонические нарушения и приток подземных вод, оползни, карсты и т. п.), а также участков, неблагоприятных в санитарном отношении (скотомогильники, кладбища, свалки, поля фильтрации и т. п.).

2.5. Трасса туннелей должна приниматься по возможности прямолинейной и минимальной длины. Непрямолинейную трассу допускается принимать в случаях, когда это вызывается требованиями компоновки гидроузла, необходимостью открытия дополнительных забоев или обеспечения достаточной глубины заложения туннелей, а также, когда необходимо избежать расположения туннеля в условиях, указанных в п. 2.4.

2.6. В напорном туннеле должен обеспечиваться запас давления не менее 0,2 кгс/см^2 под шелыгой свода на всем протяжении туннеля.

2.7. Углы поворота трассы туннеля при скорости потока воды до 10 м/с должны приниматься не более 60°, а радиусы закругления — не менее пяти пролетов туннеля в свету. Увеличение угла поворота и уменьшение радиуса закругления против приведенных допускается на основании лабораторных исследований.

При скоростях потока воды в туннеле более 10 м/с допустимые величины угла поворота и радиуса закругления необходимо определять на основании лабораторных исследований.

Начальный и концевой участки криволинейной трассы туннелей должны проектироваться прямолинейными, длиной, равной пролету выработки, но не менее 6 м.

2.8. Формы поперечных сечений безнапорных туннелей, показанные на рис. 1, принимаются в зависимости от инженерно-геологических условий в породах с коэффициентом крепости:

$f_{кр} \geqslant 8$, при отсутствии горного давления — I;

$8 > f_{кр} > 4$, вызывающих только вертикальное горное давление — II;

$4 \geqslant f_{кр} \geqslant 2$, вызывающих вертикальное и горизонтальное горное давление — III;

$f_{кр} < 2$, вызывающих значительные вертикальное, горизонтальное горное давление и давление снизу — IV.

Примечания: 1. Допускается применение других форм поперечных сечений туннелей при надлежащем обосновании.

2. Значения коэффициентов крепости пород приняты по строительным нормам и правилам проектирования железнодорожных и автодорожных туннелей.

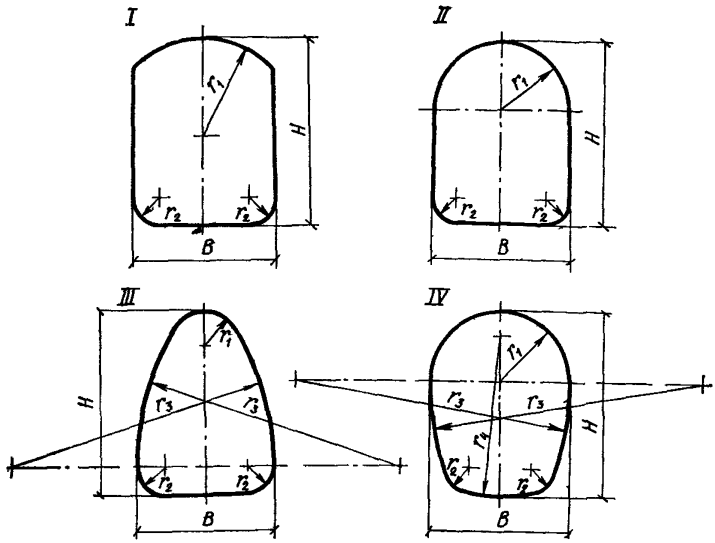


Рис 1. Поперечные сечения туннелей в свету

2.9. Поперечное сечение кругового очертания принимается для безнапорных туннелей, проходящих в породах, развивающих горное давление, несимметричное относительно вертикальной оси сечения, в набухающих породах, а также при высоком напоре подземных вод.

При значительном давлении подземных вод, помимо кругового очертания, разрешается также применение форм поперечных сечений I—IV, при проведении дополнительных конструктивных мероприятий (цементация, анкеры, дренаж и т. д.).

2.10. Соотношения размеров поперечных сечений должны приниматься по табл. 1.

Таблица 1

Форма сечения (по рис. 1)	Соотношения размеров сечения				
	$\frac{H}{B}$	$\frac{r_1}{B}$	$\frac{r_2}{B}$	$\frac{r_3}{B}$	$\frac{r_4}{B}$
I	1	0,71	От 0,1 до 0,15	—	—
	1,5	0,71	От 0,1 до 0,15	—	—
II	1	0,5	От 0,1 до 0,15	—	—
	1,5	0,5	От 0,1 до 0,15	—	—
III	1	0,25	0,2—0,25	0,98—0,88	—
	1,5	0,25	0,2—0,25	2,58—2,38	—
IV	1	0,5	От 0,1 до 0,15	От 1 до 1,5	От 1 до 1,5
	1,5	0,5	От 0,1 до 0,15	От 2 до 4	От 1 до 1,5

Примечания: 1 Соотношения размеров поперечных сечений при колебаниях уровня воды меньше и больше 0,3 H принимаются соответственно по верхней и нижней строкам таблицы

2 Для формы сечения III меньшие (большие) значения $\frac{r_3}{B}$ соответствуют меньшим (большим) значениям $\frac{r_2}{B}$.

3. Соотношение $\frac{H}{B}$ при соответствующем обосновании допускается принимать более 1,5

2.11. В напорных туннелях надлежит принимать поперечное сечение кругового очертания. В устойчивых слаботрещиноватых скальных породах допускается принимать некруговое очертание напорного туннеля для удобства производства работ (см. рис. 1 формы I, II, IV) и если это допустимо по условиям прочности обделки.

2.12. Размеры поперечного сечения в свету (диаметр D или пролет B) подводящих и отводящих туннелей гидроэлектростанций должны приниматься в интервалах от 2 до 6 м — через 0,5 м; от 6 до 15 м — через 1 м.

Примечания: 1. В случае, если определенный расчетом размер сечения (D или B) находится между размерами, приведенными в настоящем пункте, должен приниматься тот, который обеспечивает лучшие технико-экономические показатели туннеля

2 Размеры сечения туннелей, сооружаемых с помощью проходческих щитов или комбайнов, назначаемые исходя из габаритов этого оборудования, в отдельных случаях при надлежащем технико-экономическом обосновании могут отличаться от размеров, приведенных в настоящем пункте.

2.13. Размеры поперечного сечения гидротехнических туннелей в случае переменного гидравлического режима при скоростях воды в туннелях более 10 м/с должны назначаться на основании лабораторных исследований с учетом опыта эксплуатации туннелей-аналогов.

2.14. Высота воздушного пространства над уровнем воды в безнапорном туннеле при установившемся движении потока со скоростью до 10 м/с должна приниматься не менее 0,07 высоты туннеля в свету, но не менее 40 см.

При скоростях течения воды в туннеле более 10 м/с достаточность указанного воздушного пространства должна быть обоснована данными лабораторных исследований.

2.15. Минимальные размеры поперечных сечений гидротехнических туннелей в свету должны назначаться по табл. 2.

Таблица 2

Форма поперечного сечения туннелей	Минимальные размеры поперечных сечений туннелей в свету, м			
	без обделки		с обделкой	
	B	*H*	*B*	*H*
I—IV (по рис. 1)	2	2,5	2	2
Круглая (*D*)	2,5		2	

Примечание Размеры туннелей допускается уменьшать по сравнению с приведенными в табл. 2 при условии соблюдения требований правил безопасности при строительстве подземных гидротехнических сооружений

3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ ТУННЕЛЕЙ

3.1. Бетон и арматура для бетонных и железобетонных конструкций туннелей (обделки, порталы и т. п.) должны удовлетворять требованиям строительных норм и правил проектирования бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений.

3.2. Проектные марки бетона по прочности на сжатие для бетонных и железобетонных конструкций туннелей должны назначаться не ниже:

для монолитных 200;
для сборных . . . . 300.

Примечание. Применение бетонов более низких марок, а также бетонов со специальными добавками, улучшающими их свойства, допускается при надлежащем обосновании.

3.3. Проектные марки набрызг-бетона и торкрета по прочности на сжатие должны назначаться не ниже 300.

Расчетные и нормативные сопротивления набрызг-бетона и торкрета принимаются по табл. 3.

Таблица 3

Вид напряженного состояния	Конструкции	Сопротивление набрызг-бетона и торкрета, кгс/см²							
		нормативные				расчетные			
		обозначения	проектная марка			обозначения	проектная марка		
			300	400	500		300	400	500
Сжатие осевое (призменная прочность)	Армированные	$R^{н}_{пр}$	210	280	350	$R_{пр}$	130	170	200
	Неармированные						115	150	180
Сжатие при изгибе	Армированные	$R^{н}_{и}$	260	350	440	$R_{и}$	160	210	250
	Неармированные						140	190	220
Растяжение осевое	Армированные	$R^{и}_{р}$	25	30	35	$R_{р}$	12	14	16
	Неармированные						10	12	14

Модули упругости набрызг-бетона и торкрета для проектных марок 300, 400 и 500 должны приниматься равными соответственно $2{,}4 \cdot 10^5$; $2{,}7 \cdot 10^5$ и $3{,}0 \cdot 10^5$ кгс/см².

3.4. Прочностные и деформативные характеристики монолитно-прессованного бетона должны назначаться по данным экспериментальных исследований.

3.5. Марки стали для стальных конструкций комбинированных обделок должны приниматься по табл. 4.

Таблица 4

Расчетная температура, °С	Класс стали	Марка стали	Толщина проката, мм	ГОСТ	Требования по ударной вязкости, кгс·м/см², не менее			
					при температуре, °С			после механического старения
					—20	—40	—70	
$t \geqslant -40$	С 38/23	В Ст3сп5	От 5 до 9	380—71	4	—	—	4
		В Ст3сп5	От 10 до 25	380—71	3	—	—	3
		М16С	От 8 до 40	6713—53	3,5	—	—	3,5
	С 44/29	09Г2	От 11 до 20	5058—65*	—	3	—	3
		09Г2	От 21 до 32	5058—65*	—	4	—	3
		09Г2С	От 21 до 60	5058—65*	—	3,5	—	3
	С 46/33	09Г2С	От 11 до 20	5058—65*	—	3,5	—	3
$-40 > t \geqslant -65$	С 44/29	09Г2С	От 21 до 60	5058—65*	—	—	3	3
	С 46/33	09Г2С	От 11 до 20	5058—65*	—	—	3	3

Примечания: 1. Стали других классов и марок допускается применять при надлежащем технико-экономическом обосновании.

2. Стали всех марок должны удовлетворять требованиям на загиб в холодном состоянии согласно соответствующим ГОСТам.

3. Прочерк в таблице означает, что гарантия по ударной вязкости при данной температуре или после механического старения не требуется.

3.6. Расчетные сопротивления прокатной стали должны приниматься по табл. 5.

Таблица 5

Вид напряженного состояния и характер нагрузки	Обозначения	Расчетные сопротивления, кгс/см², стали классов		
		С 38/23	С 44/29	С 46/33
Растяжение при внутреннем давлении	$R_р$	2600	3000	3100
Сжатие, изгиб и растяжение при наружном давлении . .	R	2100	2600	2900

Примечания: 1. Значения расчетных сопротивлений, приведенные в таблице, даны для стали при толщинах, не превышающих величин, указанных в табл. 4.

2. Расчетные сопротивления стали при толщине, превышающей величины, указанные в табл. 4, а также для других марок стали, должны приниматься по строительным нормам и правилам проектирования стальных конструкций.

3.7. Для сварки стальных конструкций должны применяться материалы, соответствующие классу свариваемых сталей, согласно требованиям норм проектирования стальных конструкций.

3.8. Расчетные сопротивления сварных соединений должны приниматься по табл. 6.

Таблица 6

Вид сварных соединений	Вид напряженного состояния и характер нагрузки	Обозначения	Расчетные сопротивления, кгс/см², сварных соединений в конструкциях из стали классов		
			С 38/23	С 44/29	С 46/33
Стыковые швы (I и II категорий)	Сжатие, растяжение и изгиб при проверке физическими методами контроля	$R^{св}$	2100	2600	2900
Стыковые швы (I и II категорий на оболочке)	Растяжение при внутреннем давлении при проверке физическими методами контроля	$R_р^{св}$	2600	3000	3100
Стыковые швы (III категории)	Сжатие	$R_с^{св}$	2100	2600	2900
	Изгиб и растяжение	$R^{св}$	1800	2200	2500
Угловые швы	Срез	$R_у^{св}$	1500	1800	2000

Примечания. 1. Расчетные сопротивления стыковых соединений установлены для швов, выполненных двусторонней сваркой или односторонней с подваркой корня шва или на остающейся подкладке.

2. К сварным соединениям I категории относятся все продольные стыковые соединения оболочки прямых участков, все соединения оболочки фасонных элементов и стыковые соединения колец жесткости. К сварным соединениям II категории относятся все поперечные стыковые соединения оболочки прямых участков.

3. Швы с полным проваром в угловых и тавровых соединениях рассчитываются как стыковые соединения.

4. I, II и III категории контроля качества сварных соединений приведены в общесоюзных строительных нормах и правилах на изготовление, монтаж и приемку металлических конструкций.

3.9. В гидротехнических туннелях облицовки (или покрытия) с повышенной кавитационной стойкостью и стойкостью к истиранию допускается проектировать из бетонов высоких марок со специально подобранным составом, из бетонов на основе полимерных вяжущих (эпоксидных, фурфуроловых смол и др.), а также из листовой стали.

4. ТУННЕЛИ БЕЗ ОБДЕЛКИ

4.1. Безнапорные туннели, проходящие в слаботрещиноватых скальных породах при скорости течения воды не более 10 м/с, должны проектироваться без обделки. Для улучшения гидравлического режима и условий ревизии туннелей без обделки целесообразно в отдельных случаях проектировать плоский лоток бетонным.

При скорости течения воды более 10 м/с проектирование безнапорных туннелей без обделки должно быть обосновано данными лабораторных исследований.

4.2. Напорные туннели, проходящие в указанных в п. 4.1 условиях, допускается проектировать без обделки при значении глубины заложения туннелей не менее половины величины внутреннего напора воды в метрах.

4.3. Безнапорные и напорные туннели, проходящие в вечномерзлых скальных породах, не теряющих устойчивости при изменении температурного режима, допускается проектировать без обделки с учетом требований пп. 4.1 и 4.2.

4.4. Начальный и концевой участки необлицованного безнапорного туннеля должны проектироваться с обделкой на длине, равной пролету выработки, но не менее 6 м, а для напорного туннеля эти участки должны быть облицованы в соответствии с требованиями п. 4.2.

4.5. Проектами на строительство туннелей без обделки должно предусматриваться гладкое взрывание породы для уменьшения шероховатости поверхности туннеля.

5. КРЕПЬ ТУННЕЛЕЙ

5.1. При проектировании гидротехнических туннелей применяются следующие крепи: анкерная, арочная (рамная), из набрызг-бетона или их сочетания.

Анкерную крепь и крепь из набрызг-бетона допускается применять совместно с металлической сеткой.

5.2. Анкерная крепь в сочетании с покрытием из набрызг-бетона или без него применяется в породах с $f_{кр} \geqslant 4$. Применение этих видов крепи в более слабых породах должно быть обосновано натурными исследованиями.

Крепь из набрызг-бетона (временную) целесообразно применять в породах с $f_{кр} \geqslant 6$ при величине сцепления набрызг-бетона с породой не менее 5 кгс/см^2,

Арочная крепь применяется в породах с $f_{кр} < 4$.

5.3. Длина анкеров $l_а$ в м для сводчатой части выработки должна определяться по формуле

$$l_а \geqslant h_н + l_з, \quad (1)$$

где $h_н$ — глубина нарушенной зоны, определяемая по данным натурных исследований; для предварительных расчетов $h_н$ допускается определять по формуле

$$h_н = k_1 B_о; \quad (2)$$

k_1 — коэффициент, принимаемый по табл. 7;

Таблица 7

Коэффициент крепости $f_{кр}$	Коэффициент k_1 при степени трещиноватости пород		
	слаботрещиноватые	трещиноватые	сильнотрещиноватые
4	0,2	0,3	0,4
От 5 до 9	0,1	0,2	0,3
10 и более	0,05	0,1	0,15

$B_о$ — пролет выработки, м,

$l_з$ — заглубление анкеров за пределы нарушенной зоны, м:

для стальных —

$$l_з = 0{,}25\, h_н; \quad (3)$$

для железобетонных —

$$l_з = \frac{R_а d_а}{400\, \tau_а} \geqslant 0{,}5 \text{ м}; \quad (3')$$

$R_а$ — расчетное сопротивление растяжению стержня анкера, кгс/см^2;

$d_а$ — диаметр стержня анкера, см;

$\tau_а$ — расчетное сцепление стержня анкера с омоноличивающим цементно-песчаным раствором, кгс/см^2, принимаемое для предварительных расчетов по табл. 8.

Таблица 8

Вид горячекатаной стержневой арматуры	Сцепление арматуры с раствором $\tau_а$ при проектной марке раствора на сжатие, кгс/см^2	
	200	300
Круглая (гладкая)	15	25
Периодического профиля	25	35

5.4. Расстояние между анкерами a в м в продольном и поперечном направлениях для сводчатой части выработки должно приниматься наименьшим (но не менее 1 м), определенным по условиям:

а) образования породного свода — по формуле

$$a = l_a - \frac{k_в q}{c}(l_a^2 + B_0), \qquad (4)$$

где $k_в$ — коэффициент, принимаемый по табл. 9;

Таблица 9

Коэффициент крепости $f_{кр}$	Коэффициент $k_в$ при формах сечения выработок по рис 1	
	I	II—IV и круговом очертании
До 5	0,2	0,25
Более 5	0,25	0,3

q — расчетная величина вертикального горного давления, тс/м², определяемая в соответствии с требованиями п. 7.13;

c — величина сцепления породы в нарушенной зоне, тс/м², принимаемая по данным натурных исследований; для предварительных расчетов допускается принимать $c=3f_{кр}$.

Остальные обозначения те же, что и в п 5.3;

б) устойчивости породы между анкерами — по формуле

$$a = \frac{l_a}{3}\sqrt{\frac{c}{q}}; \qquad (5)$$

в) прочности закрепления анкера — по формуле

$$a = \sqrt{\frac{N_a}{\gamma_п h_н}}, \qquad (6)$$

где N_a — несущая способность анкера, тс, определяемая по данным натурных исследований; для предварительных расчетов допускается принимать: для стальных анкеров в породах с $f_{кр}=6$—10 $N_a=8$—10 тс, а в остальных случаях $N_a=6$—8 тс;

для железобетонных анкеров N_a принимается равной прочности стержня анкера на разрыв;

$\gamma_п$ — объемный вес породы, тс/м³.

5.5. Толщина покрытия из набрызг-бетона $t_{нб}$ в м для сводчатой части выработки должна определяться по формуле:

$$t_{нб} = k_2 a_1 \sqrt{\frac{q}{m R_p}}; \qquad (7)$$

где k_2 — коэффициент, принимаемый равным при закреплении выработок: набрызг-бетоном (или набрызг-бетоном с арочной крепью) — 0,35, набрызг-бетоном с анкерной крепью — 0,25,

a_1 — длина расчетного элемента покрытия, м, принимаемая при наличии анкеров $a_1 = a$ (см. п. 5.4); в остальных случаях $a_1 = \frac{B_0}{6}$, но не менее 1 м (B_0 то же, что и в формуле 2);

R_p — расчетное сопротивление набрызг-бетона осевому растяжению, принимаемое по табл. 3;

m — коэффициент условий работы, принимаемый равным: для армированных покрытий — 1, для неармированных — 0,75.

5.6. Необходимость применения анкерной крепи для стен выработки должна быть обоснована с учетом конкретных инженерно-геологических условий и напряженного состояния массива горных пород

5.7. Арочная (рамная) крепь рассчитывается методами строительной механики на горное давление, определяемое в соответствии с требованиями раздела 7 настоящих Указаний.

6. ОБДЕЛКИ ТУННЕЛЕЙ

6.1. Обделки гидротехнических туннелей подразделяются на выравнивающие (ненесущие) и несущие.

Выравнивающие обделки должны обеспечивать улучшение гидравлических характеристик туннелей, снижение фильтрационных потерь воды из туннеля, а также предотвращение выветривания породы

Несущие обделки должны предназначаться для восприятия нагрузок в строительный и эксплуатационный периоды, а также удовлетворять требованиям, предъявляемым к выравнивающим обделкам.

6.2. Выравнивающие обделки должны предусматриваться:

в трещиноватых сильновыветривающихся породах, не оказывающих горного давления;

для создания гладкой внутренней поверхности туннеля, проходящего в слаботрещиноватых устойчивых породах.

Выравнивающие обделки должны проектироваться из монолитного бетона или набрызг-бетона и предусматриваться в пределах смоченного периметра.

Обделки из набрызг-бетона без выравнивания и заглаживания их поверхности должны применяться при скоростях воды в туннеле не более 10 м/с; при больших скоростях их применение должно быть обосновано данными лабораторных исследований.

При применении выравнивающих обделок в напорных туннелях необходимо соблюдать требование п. 4.2.

6.3. Виды несущих обделок напорных и безнапорных туннелей приведены в табл. 10.

Таблица 10

Виды несущих обделок туннелей	Типы туннелей	
	напорные	безнапорные
Бетонные	Монолитные Монолитные с укрепительной цементацией Из набрызг-бетона Из прессованного бетона	Монолитные Из набрызг-бетона Из прессованного бетона
Железобетонные	Монолитные Монолитные с укрепительной цементацией Из армированного набрызг-бетона	Монолитные Из армированного набрызг-бетона Сборные из цельнозамкнутых колец или отдельных блоков
Комбинированные (двухслойные)	С наружным монолитным бетонным кольцом и внутренней стальной оболочкой С наружным монолитным железобетонным кольцом и внутренней стальной оболочкой С наружным монолитным бетонным кольцом или сборной железобетонной обделкой и внутренней железоторкретной оболочкой	— — —

Примечание. Применение других видов обделок, не приведенных в таблице, допускается при надлежащем технико-экономическом обосновании.

6.4. Несущие обделки туннелей допускается проектировать трещиностойкими или нетрещиностойкими с допускаемым раскрытием трещин.

Трещиностойкие обделки должны предусматриваться при расположении туннелей в породах, подверженных суффозии, выщелачиванию, а также в случае, если водасреда характеризуется гидрокарбонатной щелочностью менее 0,25 мг·экв/л.

Нетрещиностойкие обделки (бетонные и железобетонные) должны проектироваться во всех случаях, когда величина фильтрационной утечки воды из туннеля не вызывает снижения долговечности обделки и устойчивости горного массива, а также допустима по энергоэкономическим условиям. Обделки безнапорных туннелей следует проектировать, как правило, нетрещиностойкими.

6.5. Толщина бетонной или железобетонной обделки напорного туннеля $h_{об}$ должна быть, как правило, не более $0{,}2\,r_в$, где $r_в$ — внутренний радиус туннеля. В случае, если по условию трещиностойкости $h_{об} > 0{,}2\,r_в$, целесообразно применение обделок из материалов с меньшими значениями модулей упругости, чем у тяжелых бетонов, или улучшение деформативных характеристик породы путем укрепительной цементации в зависимости от результатов технико-экономического сравнения вариантов.

6.6. Бетонные монолитные трещиностойкие обделки в напорных туннелях должны применяться в породах с $f_{кр} \geqslant 4$. Нетрещиностойкие обделки из монолитного бетона надлежит применять в однородных слаботрещиноватых породах той же крепости, а также в сильнотрещиноватых породах при условии проведения укрепительной цементации.

6.7. Обделки из набрызг-бетона целесообразно предусматривать для инженерно-геологических условий, указанных в п. 6.2, при величинах сцепления с породой не менее 8 кгс/см^2.

6.8. Железобетонные монолитные обделки напорных туннелей могут применяться в условиях пород любой крепости. При этом их применение в условиях пород с $f_{кр} \geqslant 4$ требует надлежащего технико-экономического обоснования.

6.9. Обделки из армированного набрызг-бетона в сочетании с железобетонными анкерами допускается предусматривать для туннелей, проектируемых в слаботрещиноватых или слоистых скальных породах.

6.10. Сборные обделки из отдельных блоков или цельнозамкнутых колец рекомендуется предусматривать в условиях проходки туннеля на полное сечение, при этом применение обделок из цельнозамкнутых колец (круглых или овальных) целесообразно в туннелях пролетом до 3 м.

6.11. Комбинированные (двухслойные) обделки высоконапорных туннелей с внутренней стальной оболочкой допускается предусматривать только в исключительных случаях, при необходимости обеспечения водонепроницаемости при надлежащем технико-экономическом обосновании.

Наружное кольцо комбинированной обделки, как правило, принимается бетонным и минимальной толщины и имеет чисто конструктивное значение.

6.12. Комбинированные (двухслойные) обделки с внутренней железоторкретной оболочкой и наружным монолитным бетонным кольцом допускается предусматривать в породах с $f_{кр} \geqslant 4$.

6.13. При проектировании обделок туннелей, расположенных в трещиноватых породах, для увеличения водонепроницаемости и улучшения деформативных характеристик пород, окружающих туннель, надлежит предусматривать укрепительную цементацию породы, а для облегчения работы конструкции обделки допускаются применение дренажных устройств и анкеровка обделки в породу

7. НАГРУЗКИ, ВОЗДЕЙСТВИЯ И ИХ СОЧЕТАНИЯ

7.1. Нагрузки и воздействия разделяются на постоянные и временные (длительные, кратковременные и особые).

7.2. К постоянным нагрузкам и воздействиям относятся:

горное давление;

собственный вес обделки;

воздействия предварительного напряжения.

7.3. К временным длительным нагрузкам относятся: внутреннее давление воды в туннеле при нормальном подпорном уровне в водохранилище,

давление подземных вод

7.4. К кратковременным нагрузкам и воздействиям относятся:

давление пульсации потока воды;

внутреннее давление воды в туннеле от гидравлического удара;

температурные климатические воздействия (для стальных оболочек);

давление раствора на обделку (стальную оболочку) туннеля при выполнении цементации;

давление на стальную оболочку от свежеуложенного бетона;

давление от механизмов при производстве работ.

7.5. К особым нагрузкам и воздействиям относятся:

сейсмические и взрывные воздействия;

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

усилия, возникающие вследствие изменения температуры, набухания и усадки бетона, ползучести породы.

7.6. Нагрузки и воздействия надлежит принимать в следующих сочетаниях:

основных, составляемых из постоянных, временных длительных и кратковременных нагрузок и воздействий;

особых, составляемых из постоянных, временных длительных, некоторых кратковременных и одной из особых нагрузок и воздействий.

7.7. Нагрузки и воздействия должны приниматься в наиболее неблагоприятных, но возможных сочетаниях отдельно для эксплуатационного и строительного случаев.

7.8. Коэффициенты перегрузки для нагрузок при расчете обделок туннелей на прочность и устойчивость (первая группа предельных состояний) принимаются по табл. 11.

Таблица 11

Наименование нагрузок	Коэффициенты перегрузки n
Вертикальное горное давление:	
от веса породы при сводообразовании	1,5
от веса всей толщи пород над туннелем или от веса нарушенной зоны	1,1 (0,9)

Продолжение табл. 11

Наименование нагрузок	Коэффициент перегрузки n
Горизонтальное горное давление . .	1,2 (0,8)
Собственный вес обделки	1,2 (0,9)
Внутреннее давление воды (с учетом гидравлического удара)	1
Давление пульсации потока воды .	1,2
Давление подземных вод	1,1 (0,9)
Давление раствора при цементации .	1,2 (1)
Давление от механизмов	1,2

Примечания: 1. Указанные в скобках коэффициенты перегрузки относятся к случаям, когда применение минимального значения коэффициентов приводит к невыгодному случаю загружения обделки туннеля.

2. Для нагрузок, определяемых по результатам натурных исследований, коэффициент перегрузки следует принимать равным 1.

3. При определении расчетного горизонтального горного давления, кроме коэффициента перегрузки горизонтального горного давления, учитывается соответствующий коэффициент перегрузки вертикального горного давления.

7.9. Для безнапорных туннелей I класса и напорных туннелей I и II классов величина горного давления на обделку или крепь туннеля должна определяться натурными исследованиями на участках с характерными инженерно-геологическими условиями. Для остальных классов туннелей величину горного давления допускается определять по пп. 7.10—7.14 или принимать по аналогам.

Примечание. Для выработок глубокого заложения (500 м и более) величина горного давления должна определяться специальными методами, учитывающими в определенных условиях пластическое состояние пород, стреляние породы и другие специфические явления.

7.10. Величина горного давления в породах с $f_{кр}<4$ должна приниматься равной массе породы в объеме, ограниченном сводом давления, если расстояние от кровли выработки до дневной поверхности больше двух высот свода давления. При меньшем заглублении туннеля величина горного давления принимается равной весу всей толщи пород над ним.

7.11. Нормативные величины вертикального $q^н$ и горизонтального $e^н$ горного давления при сводообразовании в породах с $f_{кр}<4$ должны приниматься равномерно

распределенными по пролету и высоте выработки и определяться по формулам:

$$q^{н} = \beta \gamma_{п} h, \tag{8}$$

где β — коэффициент, принимаемый при пролете выработки $B_0 < 6$ м $\beta = 0{,}7$ и при $B_0 \geqslant 6$ м равным 1;

$\gamma_{п}$ — объемный вес породы, тс/м^3;

h — высота свода давления, м,

при этом

$$h = \frac{L}{2 f_{кр}}, \tag{9}$$

где $L = B_0 + 2 H_0 \operatorname{tg}\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)$ — пролет свода давления, м;

H_0 — высота выработки, м;

φ — угол внутреннего трения;

$$e^{в} = \gamma_{п} (h + 0{,}5 H_0) \operatorname{tg}^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2}\right), \tag{10}$$

но не более величины вертикального горного давления.

7.12. Величину горного давления в породах с $f_{кр} \geqslant 4$ надлежит принимать равной весу породы в объеме нарушенной зоны.

7.13. Нормативная величина вертикального горного давления в породах с $f_{кр} > 4$ при $B_0 < 6$ м определяется в соответствии с указаниями п. 7.11, а при $B_0 \geqslant 6$ м — по формуле

$$q^{н} = \gamma_{п} h_{н}, \tag{11}$$

где $h_{н}$ — глубина нарушенной зоны, определяемая по указаниям п. 5.3.

Примечание. При расчете анкерной крепи в слаботрещиноватых породах при глубине нарушенной зоны более 1,5 м величину $q^{н}$ надлежит уменьшать на 20%.

7.14. В породах с $f_{кр} > 4$ горизонтальное горное давление, как правило, не должно учитываться. При высоте стены туннеля более 6 м величина горизонтального горного давления определяется из условия предельного равновесия сползающей призмы породы.

7.15. Горное давление на обделки туннелей в породах любой крепости не должно учитываться, если предусматривается закрепление выработок железобетонными анкерами с покрытием набрызг-бетоном или металлическими арками, оставляемыми в обделке.

7.16. Величину давления подземных вод надлежит определять при установившемся уровне воды в водохранилище, при этом должно учитываться снижение уровня подземных вод предусмотренными для этих целей дренажными устройствами и цементационными завесами.

7.17. Нагрузки на обделки туннелей для случаев, не предусмотренных в настоящем разделе, должны определяться соответствующими требованиями общесоюзных строительных норм и правил на проектирование метрополитенов, железнодорожных и автодорожных туннелей.

8. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

8.1. Расчеты обделок гидротехнических туннелей надлежит производить по методу предельных состояний в соответствии с требованиями общесоюзных норм и правил на проектирование строительных конструкций и оснований, а также на проектирование бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений.

8.2. Расчет обделок туннелей должен производиться:

а) по несущей способности на прочность и в необходимых случаях с проверкой устойчивости формы конструкции (первая группа предельных состояний);

б) по трещиностойкости, если трещины не допускаются, или по раскрытию трещин, если раскрытие их допустимо по условиям долговечности обделки туннеля, сохранности массива, а также по величине фильтрационного расхода воды из туннеля (вторая группа предельных состояний).

8.3. Расчеты обделок по первой группе предельных состояний производятся со следующими коэффициентами:

а) коэффициент перегрузки n, принимаемый по табл. 11;

б) коэффициент капитальности и сочетаний $m_{кс}$ для обделок из бетона и железобетона, принимаемый по табл. 12, или коэффициент сочетаний $m_с$ для стальных оболочек, принимаемый по табл. 13.

Таблица 12

Вид конструкций	Коэффициенты капитальности и сочетаний $m_{кс}$ при классе сооружений							
	I		II		III		IV	
	и при сочетаниях нагрузок и воздействий							
	основных	особых	основных	особых	основных	особых	основных	особых
Бетонные	0,75	0,95	0,8	1,1	0,9	1,15	0,95	1,15
Железобетонные . . .	0,85	1	0,95	1	1	1,05	1,05	1,05

Примечание. При расчетах на нагрузки в период строительства, испытаний и ремонта, а также при расчете на основные сочетания, включающие не менее двух кратковременных нагрузок и воздействий, величину коэффициента $m_{кс}$ допускается принимать равной среднеарифметическому между значениями коэффициентов для основных и особых сочетаний.

Таблица 13

Наименование нагрузок	Коэффициент сочетаний m_c при сочетаниях нагрузок	
	основных	особых
Внутреннее давление воды	0,75 (0,9)	1,1
Давление подземных вод, раствора при цементации и свежеуложенного бетона	0,8	1

Примечание. Значение коэффициента m_c, указанное в скобках, должно приниматься, если величина внутреннего давления воды p в кгс/см^2 не превышает 0,15 K_o и величины давления толщи пород над туннелем. При этом коэффициент удельного отпора породы K_o, кгс/см^3, определяется по формуле

$$K_o = K\frac{r_н}{100},$$

где K — коэффициент отпора породы, кгс/см^3;
$r_н$ — наружный радиус обделки, см

в) коэффициент условий работы m, принимаемый по табл. 14.

Таблица 14

Вид конструкций	Коэффициенты условий работы m при расчете по предельным состояниям	
	первой группы	второй группы
1 Бетонные обделки (в том числе из набрызг-бетона и прессованного бетона)	1	0,8 (0,65)
2. Железобетонные обделки (в том числе предварительно-напряженные, из армированного набрызг-бетона и железоторкретные)	1	1,15 (1)
3. Комбинированные (двухслойные) обделки, состоящие из внутренней стальной оболочки и наружного бетонного кольца:		
а) при расчете на внутреннее давление прямых участков оболочки и элементов ее усиления, а также воротников и диафрагм .	0,85	—
б) при расчете на внутреннее давление участков оболочки фасонных частей (колен, развилок, тройников)	0,75	—
в) при расчете всех участков оболочки на давление подземных вод, раствора при цементации и свежеуложенного бетона	0,75	—
4 Комбинированные (двухслойные) обделки, состоящие из внутренней стальной оболочки и наружного железобетонного кольца	0,9	—

Примечание Значения коэффициентов, указанных в скобках, должны приниматься при коэффициенте удельного отпора породы $K_0 < 200$ кгс/см^3, в породах, подверженных суффозии, выщелачиванию, а также при гидрокарбонатной щелочности воды-среды менее 0,25 мг·экв/л

8.4. Расчет обделок по несущей способности должен производиться на возможные наиболее неблагоприятные основные и особые сочетания расчетных нагрузок с применением расчетных характеристик материалов обделок.

8.5. Расчет обделок на трещиностойкость и по раскрытию трещин должен производиться на основные сочетания нормативных нагрузок с применением нормативных характеристик материалов обделок.

8.6. Расчет обделок гидротехнических туннелей всех типов (включая фасонные части стальных оболочек) на любые сочетания нагрузок надлежит производить с учетом отпора породы.

При заложении напорного туннеля на глубине менее трех его диаметров принимаемая величина отпора породы должна быть специально обоснована.

8.7. При расчете обделок напорных туннелей на внутреннее давление с учетом величины отпора породы необходимо, чтобы принимаемая величина давления, передаваемого на породу, не превышала веса толщи пород над туннелем.

Необходимость учета отпора породы при несоблюдении этого условия, а также при расположении напорного туннеля вблизи склона должна быть специально обоснована.

8.8. Расчеты обделок туннелей на любые нагрузки при разных характеристиках пород по контуру обделки должны производиться методами строительной механики (см. приложение) и могут выполняться на электронно-вычислительных машинах (ЭВМ) с применением стандартных программ.

8.9. Допускаемые величины раскрытия трещин из условия долговечности бетона и сохранности арматуры обделок туннелей I класса должны приниматься по табл. 15.

Таблица 15

Градиент напора воды $I_н$	Допускаемые величины раскрытия трещин, мм, из условия							
	долговечности бетона при гидрокарбонатной щелочности воды, мг·экв/л				сохранности арматуры при суммарной концентрации ионов Cl' и SO_4'', мг/л			
	0,25	1	2	2,5 и более	до 50	100	200	400—1000
До 5	0,1	0,18	0,35	0,5	0,5	0,4	0,35	0,3
50	0,07	0,15	0,32	0,45	0,5	0,4	0,35	0,3
300	0,05	0,12	0,28	0,4	0,4	0,3	0,25	0,2

Примечание. Градиент напора в обделках принимается при коэффициентах фильтрации породы:

а) $k_ф \leqslant 10^{-5}$ см/с $I_н = 1$,

б) $k_ф \geqslant 10^{-4}$ см/с — по формуле $I_н = \dfrac{1000\,p - H_п}{h_{об}}$,

где p — внутреннее давление воды, кгс/см^2,

$H_п$ — напор подземных вод, см;

$h_{об}$ — толщина обделки, см;

в) в интервале $10^{-5} > k_ф > 10^{-4}$ см/с величина $I_н$ определяется по интерполяции.

Для туннелей II, III и IV классов допускаемые величины раскрытия трещин принимаются соответственно в

1,3; 1,6 и 2 раза большими, чем значения, приведенные в табл. 15, но не более 0,5 мм.

8.10. При расчете бетонных и железобетонных обделок по первой группе предельных состояний модуль упругости бетона обделки $E_б$ должен приниматься в соответствии с требованиями строительных норм и правил на проектирование бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, а при расчете по второй группе предельных состояний — равным 0,7 $E_б$.

8.11. В расчетах обделок туннелей отпор породы характеризуется коэффициентом удельного отпора породы K_0 или модулем деформации породы $E_п$ и коэффициентом поперечной деформации $\nu_п$ (коэффициент Пуассона) с учетом повышения этих характеристик в случае искусственного закрепления пород, окружающих туннель.

Для напорных туннелей круговой формы, расположенных в однородных изотропных породах, зависимость между $E_п$, K_0 и $\nu_п$ определяется формулой

$$E_п = 100\,K_0\,(1 + \nu_п). \qquad (12)$$

8.12. При расчете гидротехнических туннелей I и II классов деформативные характеристики пород $E_п$ или K_0 должны определяться на характерных инженерно-геологических участках по данным натурных исследований, выполняемых методами: напорных выработок; штампов; сейсмоакустическими и прессиометрическими.

Для туннелей III и IV классов надлежит предусматривать натурные исследования сейсмоакустическими и прессиометрическими методами, при этом допускается использование аналогов.

8.13. Для предварительных расчетов значения коэффициентов удельного отпора K_0 для трещиноватых пород допускается определять по графику рис. 2 или по аналогам.

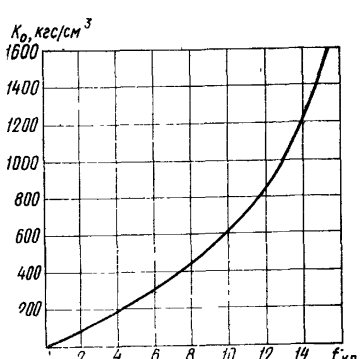


Рис. 2. График зависимости коэффициента удельного отпора K_0 от коэффициента крепости породы $f_{кр}$ для трещиноватых пород

Примечание. В слаботрещиноватых породах с $f_{кр} \leqslant 10$ значения K_o, полученные по графику рис. 2, необходимо увеличивать на 30%.

8.14. В расчетах обделок туннелей должна учитываться совместная работа арочной крепи с обделкой.

8.15. При назначении расчетной схемы обделки туннеля должна учитываться последовательность возведения обделки.

8.16. В тех случаях, когда в плане располагается несколько параллельных туннелей, в расчете на прочность должно учитываться взаимное влияние соседних туннелей.

8.17. Расчет бетонных и железобетонных обделок туннелей на температурные воздействия следует производить при расчетной разности температур более 30°С.

9. ОБЩИЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

9.1. При проектировании гидротехнических туннелей должна предусматриваться возможность опорожнения туннелей на всем протяжении для осмотра и ремонта.

В отдельных случаях допускается не предусматривать опорожнение начальных участков туннелей до затворов, при этом длина этих участков должна быть минимальной.

9.2. В водоприемнике подводящего туннеля должны предусматриваться устройства, исключающие попадание в туннель посторонних предметов, которые могут привести к повреждению его конструкции.

9.3. При проектировании гидротехнических туннелей должны предусматриваться воздухоподводящие устройства для предотвращения возможного образования вакуума в туннеле.

9.4. Минимальные толщины обделок гидротехнических туннелей должны приниматься:

для монолитных бетонных и железобетонных с однорядной арматурой	20 см
для монолитных железобетонных с двухрядной арматурой	25 см
для сборных	12 см
из набрызг-бетона:	
несущих	10 см
выравнивающих	5 см
из железоторкрета	5 см

9.5. Минимальные проценты армирования нетрещиностойких железобетонных обделок напорных туннелей определяются из условия ограничения величины раскрытия трещин максимальными допускаемыми значениями (см. табл. 15).

Для трещиностойких обделок напорных туннелей минимальные проценты армирования должны приниматься не менее 0,3% для пород с $f_{кр}<4$ и 0,15% для пород с $f_{кр}\geqslant 4$.

При проектировании безнапорных туннелей минимальный процент армирования не ограничивается.

Примечание. Процент армирования железоторкретных оболочек должен приниматься не ниже 1

9.6. Минимальная толщина защитного слоя для рабочей арматуры монолитных железобетонных обделок должна назначаться по табл. 16.

Таблица 16

Толщина обделки, м	Минимальные толщины защитного слоя бетона, см, при воде-среде	
	неагрессивной	агрессивной
До 0,3	3	4
От 0,3 до 0,5	4	5
Более 0,5	5	6

Примечания: 1. Толщина защитного слоя бетона для жесткой арматуры должна быть не менее 5 см.

2. Толщина защитного слоя торкрета для арматуры железоторкретных оболочек должна быть не менее диаметра рабочей арматуры, но не менее 2 см в неагрессивной воде-среде и 3 см — в агрессивной.

3. Для сборных обделок допускается уменьшение толщины защитного слоя на 1 см по сравнению с величинами, приведенными в таблице.

4. Толщина защитного слоя бетона для распределительной арматуры принимается на 1 см меньше, чем для рабочей арматуры.

5 Агрессивность воды-среды устанавливается в соответствии с инструкцией по определению признаков и норм агрессивности воды-среды для железобетонных и бетонных конструкций, утвержденной Госстроем СССР

РАСЧЕТ ОБДЕЛОК ТУННЕЛЕЙ

А. Расчет обделок произвольного очертания

Расчет обделок произвольного очертания на любые внешние и внутренние нагрузки или их сочетания при изменяющихся по контуру деформативных характеристик пород производится методами строительной механики или другими методами и может выполняться с применением стандартных программ на ЭВМ.

Расчет обделок туннелей на действие наиболее неблагоприятных сочетаний нагрузок выполняется в соответствии с требованиями пп. 8.4 и 8.5; при этом сложение эпюр усилий от отдельных нагрузок для получения суммарной эпюры не допускается.

При составлении расчетной схемы криволинейная ось обделки заменяется ломаной, а отпор породы — реакциями отдельных упругих опор, которые принимаются по оси обделки и в местах ее перелома (рис 3)

Для обделок кругового очертания при постоянном отпоре породы по периметру обделки величина коэффициента отпора K должна приниматься в соответствии с требованиями примечания к табл 13.

При расчете обделок безнапорных туннелей на все виды нагрузок и напорных туннелей только на внешние нагрузки по первой и второй группам предельных состояний, а также обделок напорных туннелей по трещиностойкости при действии внутреннего давления воды должна учитываться жесткость бетонного сечения.

При расчете обделок напорных туннелей по первой группе предельных состояний на действие внутреннего давления воды должна учитываться только жесткость арматуры

Расчеты обделок безнапорных туннелей по первой группе предельных состояний в случае, когда образование трещин допустимо,

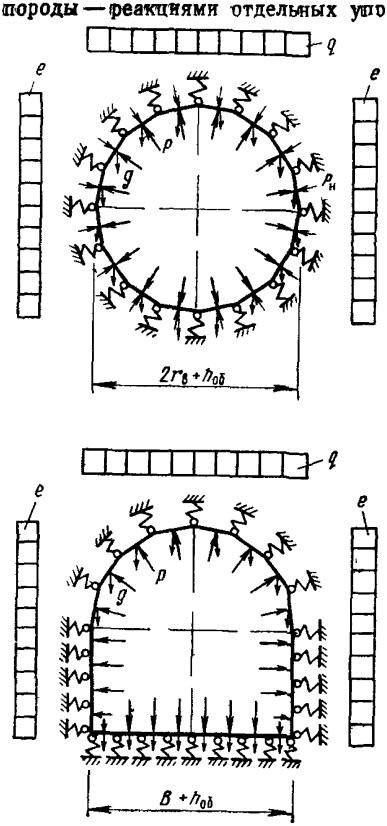


Рис. 3. Расчетные схемы обделок туннелей

а толщина обделки превышает минимальную (см. п 9.4), допускается выполнять с учетом образования пластических шарниров в обделке туннелей.

Расчет сечений обделок должен выполняться по общесоюзным строительным нормам и правилам проектирования бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений.

Б. Расчет обделок кругового очертания

I. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБДЕЛКИ И ЖЕЛЕЗОТОРКРЕТНОЙ ОБОЛОЧКИ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБДЕЛКИ С ВНУТРЕННЕЙ СТАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКОЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ

Площадь сечения рабочей арматуры F_a, см^2 на 1 см длины туннеля, при соблюдении условия

$$H' \geqslant \frac{100\, K_o r_в R_a m m_{кс}}{r_н \gamma_п E_a}, \qquad (13)$$

определяется по формуле

$$F_a = \frac{p r_в}{R_a m m_{кс}} - \frac{F_o R}{R_a} - \frac{100\, K_o r_в}{E_a}. \qquad (14)$$

При несоблюдении условия (13) — по формуле

$$F_a = \frac{p r_в}{R_a m m_{кс}} - \frac{F_o R}{R_a} - \frac{\gamma_п H' r_н}{R_a m m_{кс}}. \qquad (15)$$

В формулах (13)—(15):

p — расчетное внутреннее давление воды с учетом гидравлического удара, кгс/см^2;

H' — расстояние от шелыги свода туннеля до поверхности земли, см;

R_a и E_a — расчетное сопротивление арматуры на растяжение и модуль упругости арматуры, кгс/см^2;

F_o — площадь сечения стальной оболочки, см^2 на 1 см длины туннеля;

R — расчетное сопротивление стальной оболочки, принимаемое по табл. 5,

$\gamma_п$ — объемный вес породы, кгс/см^3.

Примечание. По формулам (14) и (15) также допускается рассчитывать железобетонные конструкции развилок туннелей со стальной оболочкой.

II. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБДЕЛКИ СО СТАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКОЙ И НАРУЖНЫМ БЕТОННЫМ КОЛЬЦОМ

1 Проверка прочности стальной оболочки производится по формуле

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_z + \sigma_z^2} \leqslant R_1, \qquad (16)$$

при этом должны соблюдаться условия: $\sigma_x \leqslant R_1$ и $\sigma_z \leqslant R_1$,

где σ_x и σ_z — нормальные напряжения соответственно в поперечных и продольных сечениях оболочки, кгс/см²;

R_1 — расчетное сопротивление, принимаемое при расчетах на внутреннее давление равным $mm_c R_p$, а при расчетах на наружное давление — $mm_c R$;

R_p и R — расчетные сопротивления стали, принимаемые по табл. 5;

m_c и m — коэффициенты, принимаемые по табл. 13 и 14.

2. Нормальное напряжение в продольных сечениях оболочки от внутреннего давления воды определяется:

а) при наличии отпора породы — по формуле

$$\sigma_z = \frac{pr + 100\,\psi K_o'}{\delta + 4{,}33 \cdot 10^{-5} r K_o'}, \qquad (17)$$

где p — расчетное внутреннее давление воды с учетом гидравлического удара, кгс/см²;

r — средний радиус оболочки, см;

δ — толщина стальной оболочки, см;

ψ — расчетный радиальный зазор между стальной оболочкой и бетоном, см;

K_o' — приведенный коэффициент удельного отпора породы, кгс/см³, принимаемый:

при $K_o \ln \frac{r_н}{r} \leqslant 100$ равным K_o;

при $K_o \ln \frac{r_н}{r} > 100$ — по формуле

$$K_o' = \frac{1}{\frac{100}{E_б} \ln \frac{r_н}{r} + \frac{1}{K_o}}, \qquad (18)$$

где $r_н$ — наружный радиус бетонного кольца, см;

$E_б$ — модуль упругости бетона, кгс/см²;

б) при отсутствии отпора породы или при $\frac{\psi}{r} \geqslant 4{,}33 \cdot 10^{-7} \frac{pr}{\delta}$ — по формуле

$$\sigma_z = \frac{pr}{\delta}. \qquad (19)$$

Расчетный радиальный зазор ψ определяется по формуле

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 + \psi_3, \qquad (20)$$

где

ψ_1, ψ_2 и ψ_3 — составляющие радиального зазора соответственно от температурных воздействий, усадки бетона и ползучести породы, см

Температурная составляющая зазора определяется по формуле

$$\psi_1 = 15{,}6 \cdot 10^{-6} r (t_ц^\circ - t_{мин}^\circ), \qquad (21)$$

где $t^{\circ}_{ц}$ — наибольшая температура в туннеле при заполнительной цементации;

$t^{\circ}_{мин}$ — наименьшая температура воды или воздуха в туннеле.

Составляющие зазора от усадки бетона ψ_2 и ползучести породы ψ_3, определяемые по данным исследований, учитываются только при расчете на особые сочетания нагрузок.

Для предварительных расчетов допускается принимать

$$\psi = 3 \cdot 10^{-4} r. \qquad (22)$$

3 Нормальное напряжение в продольных сечениях оболочки от наружного давления определяется по формуле

$$\sigma_z = p_н \frac{r}{\delta}, \qquad (23)$$

где $p_н$ — расчетное наружное давление, кгс/см².

4 Нормальные напряжения в поперечных сечениях оболочки определяются:

от температурных воздействий — по формуле

$$\sigma_{x1} = -25{,}2\, T^{\circ}_{р}, \qquad (24)$$

где $T^{\circ}_{р}$ — расчетный перепад температур;

от стеснения поперечной деформации — по формуле

$$\sigma_{x2} = 0{,}3\, \sigma_z. \qquad (25)$$

5. Местные напряжения, возникающие в стальной оболочке у ребер жесткости, а также в местах перелома, образующих под углом не более 10°, в расчете не учитываются

6 Проверка устойчивости стальной оболочки при действии наружного давления производится по формуле

$$p_н < m\, m_c\, p_{кр}\, \xi, \qquad (26)$$

где $p_{кр}$ — критическое наружное давление, кгс/см²;

ξ — коэффициент, принимаемый по табл. 17.

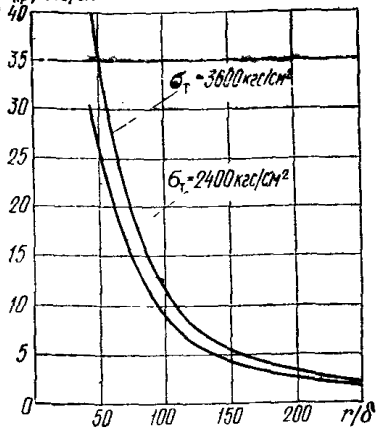
Таблица 17

$\frac{p_{кр}\, r}{\delta\, \sigma_т}$	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5
ξ	1	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4

Примечание. При значениях $\frac{p_{кр}\, r}{\delta\, \sigma_т}$ ($\sigma_т$ — нормативный предел текучести стали при растяжении, кгс/см²), больших 2,5, величина $p_{кр}\xi = \frac{\sigma_т\, \delta}{r}$.

При отсутствии колец жесткости и при $\frac{l}{r} > 2$ (l — расстояние между кольцами) критическое давление определяется по рис. 4.

Рис. 4. График зависимости критического наружного давления $p_{кр}$ от r/δ



При наличии колец жесткости критическое давление определяется по формулам:

при $0{,}5 \leqslant \frac{l}{r} \leqslant 2$

$$p_{кр} = 0{,}92\, E \left(\frac{\delta}{l}\right) \left(\frac{\delta}{r}\right)^{\frac{3}{2}}; \qquad (27)$$

при $\frac{l}{r} < 0{,}5$

$$p_{кр} = E\, \frac{\delta}{r} \left[\frac{1}{\bar{n}^2 N^2} + 0{,}0913 \left(\frac{\delta}{r}\right)^2 \bar{n}^2 \left(1 + \frac{2}{N}\right)\right], \qquad (28)$$

где $N = 1 + \left(\frac{\bar{n} l}{\pi r}\right)^2$;

$\bar{n}$ — число волн, образующихся при смятии оболочки, подбираемое таким образом, чтобы получить минимальное значение $p_{кр}$.

7. Несущая способность колец жесткости при действии наружного давления воды определяется по формуле

$$\frac{p_в l r}{m_c m F} + \frac{30 E h_р}{r^2} \cdot \frac{1}{13\, \alpha\, m\, m_c - 1} \left(0{,}1 f + \frac{I}{r F} + \alpha\, m m_c \psi\right) \leqslant R, \qquad (29)$$

где F — суммарная площадь сечений кольца жесткости и оболочки на длине l, см²;

$h_р$ — высота кольца жесткости, см;

I — момент инерции сечения кольца жесткости относительно оси, совпадающей с наружной поверхностью оболочки, см⁴;

f — начальное отступление радиуса кольца жесткости от теоретического, принимаемое равным $0{,}0025\, r$;

α — коэффициент, определяемый по формуле

$$\alpha = \frac{E I}{p_н l r^3}.$$

III РАСЧЕТ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБДЕЛОК, А ТАКЖЕ ЖЕЛЕЗОТОРКРЕТНЫХ ОБОЛОЧЕК НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ

Толщина обделки или оболочки должна определяться в породах при $K_о \leqslant 200$ кгс/см^3 по формуле

$$h_{об} = \frac{r_в}{1 + \mu \dfrac{300}{R_р^н}} \left(\frac{p^н}{m m_{кс} R_р^н} - \frac{100 K_о}{E_{об}} \right), \qquad (30)$$

где $p^н$ — нормативное внутреннее давление воды, кгс/см^2;

$E_{об}$ — модуль упругости материала обделки или оболочки, принимаемый для бетона и железобетона по указаниям п. 8.10, а для торкрета и набрызг-бетона по указаниям п. 3.3;

$R_р^н$ — нормативное сопротивление материала обделки или оболочки на растяжение, принимаемое для бетонных и железобетонных обделок по указаниям норм на проектирование бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, а для торкрета и набрызг-бетона по табл. 3;

μ — коэффициент армирования сечения.

Толщину обделки туннеля в слаботрещиноватых породах при $K_о > 200$ кгс/см^3 следует определять по формуле

$$h_{об} = \frac{r_в (p^н - 100 K_о \varepsilon)}{m m_{кс} R_р^н \left(1 + \mu \dfrac{300}{R_р^н} \right) + 100 K_о \varepsilon}, \qquad (31)$$

где $\varepsilon = 0{,}25 \cdot 10^{-5} m m_{кс} R_р^н \lg (0{,}5 K_о + 10)$.

IV РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН В ОБДЕЛКАХ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ

1 Величина раскрытия трещин $a_т$, см, в бетонной обделке напорного туннеля, проектируемого для однородных трещиноватых пород или других пород, укрепленных цементацией, должна определяться по формуле

$$a_т = c_т \frac{p^н}{K_о}, \qquad (32)$$

где коэффициент

$$c_т = 0{,}28 + 6{,}25 \frac{p^н}{K_о} \leqslant 1$$

2. Величина раскрытия трещин в железобетонной обделке напорного туннеля, проектируемого для любых инженерно-геологических условий, должна определяться по формуле

$$a_т = \left(\frac{\sigma_а - \sigma_{нач}}{E_а}\psi_а - \varepsilon_б\right) l_т, \qquad (33)$$

где $\sigma_а$ — напряжение в арматуре, кгс/см², определяемое по формуле

$$\sigma_а = \frac{p^н r_в}{F_а + \dfrac{100 K_о r_в}{E_а}}, \qquad (34)$$

$\sigma_{нач}$ — начальное растягивающее напряжение в арматуре; для обделок, находящихся во влажной породе, допускается принимать $\sigma_{нач} = 200$ кгс/см²;

$E_а$ — модуль упругости арматуры, кгс/см²;

$\psi_а$ — коэффициент, учитывающий работу растянутого бетона между трещинами, принимаемый по нормам на проектирование бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений;

$\varepsilon_б$ — средняя остаточная деформация бетона между трещинами при растяжении, которую допускается принимать равной $1{,}10^{-4}$;

$l_т$ — расстояние между трещинами в обделке, см; в однородных породах при любом коэффициенте армирования, а в неоднородных породах с $f_{кр} \leqslant 4$ при $\mu \geqslant 0{,}02$ расстояние между трещинами в обделке $l_т = \beta_т \dfrac{d}{4\mu}$; в неоднородных породах, укрепленных цементацией, при $\mu < 0{,}02$ значение $l_т = 1{,}5\,\beta_т \dfrac{d}{4\mu}$;

$\beta_т$ — коэффициент, зависящий от вида арматуры: для гладких стержней $\beta_т = 1$, для стержней периодического профиля $\beta_т = 0{,}5$;

d — диаметр арматуры, см;

$F_а$ — площадь сечения арматуры, см² на 1 см длины туннеля

Величины раскрытия трещин $a_т$, определенные по формулам (32), (33), не должны превышать допускаемых значений, указанных в табл 15

V. РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РАСХОДА ВОДЫ ИЗ НАПОРНОГО ТУННЕЛЯ

Величина фильтрационного расхода воды л/с·см из напорного туннеля определяется по формуле

$$Q_ф = \frac{p^н}{\dfrac{h_{об}}{k_т n_т} + \dfrac{1}{k_ф \Phi}} \leqslant Q_ф^{доп}, \qquad (35)$$

где $k_т$ — коэффициент водопроницаемости трещин в обделке (расход

воды, см³, через 1 см трещины при градиенте напора равном 1) определяется по формуле

$$k_т = 1000\, a_т^3 \ (a_т, \text{ см}); \tag{36}$$

$n_т$ — количество трещин в обделке, определяемое по формулам:

для бетонной $$n_т = 0{,}0628\, r_н; \tag{37}$$

для железобетонной $$n_т = \frac{2\pi r_н}{l_ч}; \tag{38}$$

$r_н$ — наружный радиус обделки, см;

$k_ф$ — коэффициент фильтрации породы, см/с;

Ф — модуль формы, характеризующий геометрическое соотношение между элементами зоны фильтрации, определяемый по формулам: при $n_т < 35$

$$Ф = \frac{\pi}{\frac{1}{n_т}\ln\frac{R_о}{0{,}5\, a_т} + 0{,}5\ln\frac{R_ф}{r_н + R_о}}; \tag{39}$$

при $n_т \geqslant 35$

$$Ф = \frac{2\pi}{\ln\frac{R_ф}{r_н}}. \tag{40}$$

Здесь $R_ф$ — радиус области фильтрации, принимаемый при отсутствии исследований равным двойной глубине заложения туннеля, см;

$R_о$ — радиус влияния отдельной трещины в обделке, принимаемый равным

$$R_о = 2 r_н \sin\frac{\pi}{2 n_т};$$

$Q_ф^{доп}$ — допускаемая величина фильтрационного расхода воды, принимаемая по технико-экономическим расчетам; для предварительных расчетов допускается принимать $Q_ф^{доп} =$ $=0{,}3$—$0{,}5$ л/с на 1000 м² поверхности туннеля на каждые 10 м внутреннего давления при напоре в туннеле более 100 м и $Q_ф^{доп} = 1$ л/с — при напорах менее 100 м

Расчет величины фильтрационного расхода воды из туннеля, проходящего в породах с $k_ф \leqslant 10^{-5}$ см/с, допускается выполнять без учета гидравлического сопротивления обделки, т. е $\frac{h_{об}}{k_т n_т} = 0$; в породах с коэффициентом фильтрации, находящимся в пределах $10^{-5} < k_ф < 10^{-4}$ см/с, в расчетах должно учитываться сопротивление породы и обделки фильтрации, в породах с $k_ф \geqslant 10^{-4}$ см/с в расчетах допускается не учитывать сопротивление породы фильтрации, то есть $\frac{1}{k_ф Ф} = 0$, при этом $a_т \leqslant 0{,}2$ мм.

Расчет величины фильтрационного расхода воды в случае, когда $k_ф \geqslant 10^{-4}$, $Q_ф > Q_ф^{доп}$ и гидрокарбонатной щелочности воды более 0,8 мг·экв/л, надлежит производить при $I_н \leqslant 100$ с учетом самоуплотнения трещин в обделке туннеля.

Время, необходимое для снижения коэффициента водопроницаемости трещин обделки $k_т$ до значения $k_т'$, при котором фильтрационный расход из туннеля становится равным $Q_ф^{доп}$, допускается определять по графику (рис. 5).

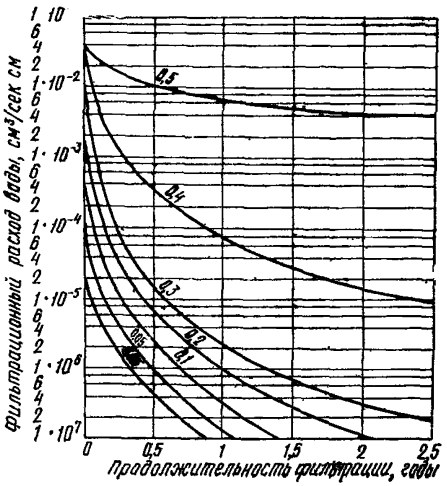


Рис. 5. Расчетные кривые самоуплотнения трещин в бетоне (цифрами у кривых обозначены величины раскрытия трещин в мм)

Величина $k_г'$, см/с, определяется по формуле

$$k_т' = \frac{Q_ф^{доп}}{n_т I_н}, \qquad (41)$$

где $I_н$ — градиент напора, принимаемый в соответствии с указаниями п. 8.9.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1. Общие положения 3
2. Трасса и поперечное сечение туннелей 5
3. Материалы для конструкций туннелей 9
4. Туннели без обделки 14
5. Крепь туннелей 14
6. Обделки туннелей 17
7. Нагрузки, воздействия и их сочетания 20
8. Основные расчетные положения 24
9. Общие конструктивные требования 29

Приложение. Расчет обделок туннелей 31

А. Расчет обделок произвольного очертания 31

Б. Расчет обделок кругового очертания 32

I. Расчет на прочность железобетонной обделки и железоторкретной оболочки и железобетонной обделки с внутренней стальной оболочкой при действии внутреннего давления воды 32

II. Расчет на прочность и устойчивость комбинированной обделки со стальной оболочкой и наружным бетонным кольцом 32

III. Расчет бетонных и железобетонных обделок, а также железоторкретных оболочек на трещиностойкость при действии внутреннего давления воды 36

IV Расчет величины раскрытия трещин в обделках при действии внутреннего давления воды 36

V. Расчет величины фильтрационного расхода воды из напорного туннеля 37

Госстрой СССР

Указания по проектированию гидротехнических туннелей (СН 238—73)

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией А. С. Певзнер
Редактор В. В. Петрова
Мл. редактор Н. В. Лосева
Технический редактор Ю. Л. Циханкова
Корректор И. А. Баринова

Сдано в набор 2/VII 1974 г. Подписано к печати 4/XI 1974 г.

Формат 84×108 1/32 Бумага типографская № 3

2,1 усл. печ. л (уч.-изд. 2,27 л.)

Тираж 15.000 экз. Изд. № XII—4864 Зак. № 356 Цена 11 коп.

Стройиздат
103006, Москва, Каляевская, 23а

Подольская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли

БСТ №12, 1979 г. с. 17-18.

Об изменении и дополнении СН 238-73

Постановлением Госстроя СССР от 26 июля 1979 г. № 126 утверждены и с 1 января 1980 г. вводятся в действие изменения и дополнения Указаний по проектированию гидротехнических туннелей (СН 238-73), утвержденных постановлением Госстроя СССР от 29 декабря 1973 г. № 264.

1. **Пункт 3.3** изложить в следующей редакции:

«3.3. Проектные марки набрызг-бетона и торкрета следует назначать по прочности на растяжение, но не ниже Р25. Величины нормативных и расчетных сопротивлений набрызг-бетона и торкрета должны приниматься согласно требованиям п. 2.11 главы СНиП II-56-77 «Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений».

Модули упругости набрызг-бетона и торкрета для марок Р25, Р30, Р35 должны приниматься равными соответственно $2.4 \cdot 10^5$, $2.7 \cdot 10^5$ и $3.0 \cdot 10^5$ кгс/см²».

2. **Пункт 5.5** изложить в следующей редакции:

«5.5. Толщина покрытия из набрызг-бетона $t_{нб}$, м, для сводчатой части выработки должна определяться по формуле

$$t_{нб} = k_2 a_1 \sqrt{\frac{k_н n_с q}{m_1 R_р}}, \qquad (7)$$

где k_2 — коэффициент, принимаемый равным при закреплении выработок: набрызг-бетоном (или набрызг-бетоном с арочной крепью) — 0,35; набрызг-бетоном с анкерной крепью — 0,3;

a_1 — длина расчетного элемента покрытия, м, принимаемая при наличии анкеров $a_1 = a$ (см. п. 5.4 настоящих норм); в остальных случаях $a_1 = \frac{B_0}{6}$, но не менее 1 м (B_0 то же, что и в формуле 2);

$k_н$ $n_с$ — соответственно коэффициенты надежности и сочетания нагрузок, принимаемые согласно требованиям п. 3.2 главы СНиП II-50-74 «Гидротехнические сооружения речные. Основные положения проектирования»;

q — расчетная величина вертикального горного давления, тс/м², принимаемая согласно требованиям пп. 7.8, 7.11 и 7.13 настоящих норм;

m_1 — коэффициент условий работы, принимаемый равным: для армированных покрытий — 1; для неармированных — 0,6;

$R_р$ — расчетное сопротивление набрызг-бетона осевому растяжению, принимаемое согласно требованию п. 3.3 настоящих норм.

3. Пункт 6.7 изложить в следующей редакции:

«6.7. Обделки из набрызг-бетона должны предусматриваться при инженерно-геологических условиях, указанных в п. 6.2 настоящих норм. При этом величина сцепления набрызг-бетона с породой должна быть не менее 50 тс/м² и не менее двойного напора подземных вод, воспринимаемого обделкой, тс/м ²».

4. Пункт 7.14 изложить в следующей редакции:

«Горизонтальное горное давление должно определяться:

в породах с $f_{кр} = 4$ — по формуле 10;

в породах с $f_{кр} > 4$, — как правило, равным нулю;

в сильнотрещиноватых породах — $e^н = 0{,}1\,\gamma_п H_0$.

При высоте туннеля более 6 м величина горизонтального горного давления определяется из условия предельного равновесия отдельных скальных блоков, отсеченных трещинами».

5. **Пункт 7.15** признать утратившим силу.

6. **В подпункте «б» пункта 8.3** слова:

«коэффициент капитальности и сочетаний $m_{кс}$ для обделок из бетона и железобетона, принимаемый по табл. 12, или» заменить словами:

«коэффициент надежности $k_н$ и сочетаний нагрузок $n_с$, принимаемые согласно требованиям п. 3.2 главы СНиП II-50-74 «Гидротехнические сооружения речные. Основные положения проектирования;».

7. **Табл. 12** признать утратившей силу.

8. В табл. 14 поз. 1 и 2 изложить в следующей редакции:

Вид конструкций	Коэффициенты условий работы m при расчете по предельным состояниям	
	первой группы	второй группы
1. Бетонные обделки (в том числе из набрызг-бетона и прессованного бетона)	1	0,9 (0,75)
2. Железобетонные обделки (в том числе предварительно напряженные, из армированного набрызг-бетона и железоторкретные)	1,15	1,30 (1,15)

9. **В примечании к табл. 15** значения коэффициента фильтрации породы:

в подпункте «а» — $k_ф \leqslant 10^{-5}$ см/с заменить на $k_ф \leqslant 10^{-4}$ см/с;

в подпункте «б» — $k_ф \geqslant 10^{-4}$ см/с заменить на $k_ф \geqslant 10^{-2}$ см/с;

подпункте «в» — $10^{-5} > k_ф > 10^{-4}$ см/с заменить на $10^{-4} < k_ф < 10^{-2}$ см/с.

10. **В абзаце первом** пункта 9.5 слова: «допускаемыми значениями (см. табл. 15).», заменить словами: «допускаемыми величинами раскрытия трещин (см. табл. 15), но не менее 0,5%.

11. В формулах (13), (14) и (15) приложения коэффициент капитальности и сочетаний $m_{кс}$ заменить на выражение $\frac{1}{k_н n_с}$, в формулах (30) и (31) коэффициент $m_{кс}$ исключить.

12. Первый абзац подраздела V раздела «Б» приложения изложить в следующей редакции: «Величина фильтрационного расхода воды л/с·см, отнесенного к 1 кгс/см² разности внутреннего и внешнего давления воды на обделку туннеля определяется по формуле

$$Q_ф = \frac{1}{\frac{h_{об}}{k_т n_т} + \frac{1}{k_ф \Phi}} \leqslant Q_ф^{доп} 2\pi r_в \cdot 10^{-7}. \qquad (35)$$

В обозначении величины $Q_ф^{доп}$ в формуле (35) слова: «при напорах менее 100 м» заменить словами: «при напорах менее 100 м также на каждые 10 м внутреннего давления».

13. **В подразделе V раздела «Б» приложения** значения коэффициента фильтрации породы:

$k_ф \leqslant 10^{-5}$ см/с заменить на $k_ф \leqslant 10^{-4}$ см/с;

$k_ф \geqslant 10^{-4}$ см/с заменить на $k_ф \geqslant 10^{-2}$ см/с;

$10^{-5} < k_ф < 10^{-4}$ заменить на $10^{-4} < k_ф < 10^{-2}$ см/с.

gost.e-ecolog.ru