

СВОД ПРАВИЛ**Туннели гидротехнические****Hydraulic tunnels**

Дата введения 2013–01–01

1 Область применения

Требования настоящих строительных норм и правил распространяются на проектирование строящихся и реконструируемых гидротехнических туннелей всех классов, входящих в состав гидроэлектростанций, мелиоративных систем и систем водоснабжения.

При проектировании гидротехнических туннелей в особых условиях (в районах с сейсмической активностью, в северной строительно-климатической зоне, в сложных инженерно-геологических условиях и др.), необходимо соблюдать дополнительные требования соответствующих нормативных документов.

В СНиП даются сведения о конструкциях туннелей, материалах для этих конструкций, основные положения по расчету обделок гидротехнических туннелей.

СНиП допускается к использованию при проектировании аналогичных по назначению подземных сооружений.

2 Нормативные ссылки

В настоящих нормах и правилах приведены ссылки на следующие нормативные документы:

СНиП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения

СП 23.13330.2011 «СНиП 2.02.02-85 Актуализированная редакция. Основания гидротехнических сооружений»

СП 14.13330.2011 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах»

СП II-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства

СП II-104-97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства

СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия

СНиП 2.06.14-85 Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод

СНиП 2.04.02-84* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения

СНиП 2.06.08-2008 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений

СНиП (проект, 1 редакция)

СНиП II-23-81* Стальные конструкции

СНиП II-94-80 Подземные горные выработки

ГОСТ 9.602-89* Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии

ГОСТ 7473-94 Смеси бетонные. Технические условия

ГОСТ 12248-96 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости

ГОСТ 20276-99 Грунты. Метод полевого определения характеристик прочности и деформируемости

ГОСТ 20522-96 Грунты. Методы статической обработки результатов испытаний

ГОСТ 23278-78 Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости

ГОСТ 26633-91 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.

П р и м е ч а н и е – При пользовании настоящим сводом правил целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован на 01 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим сводом правил следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

Для целей настоящего свода правил используются следующие термины и определения:

3.1 безнапорное движение жидкости: Движение жидкости по туннелю со свободной поверхностью потока по всей его длине.

3.2 входной оголовок: Входной участок водосброса, в частности водосброса с замкнутым сечением, на протяжении которого осуществляется плавный переход от расширенного входного сечения к начальному сечению транзитной части водосброса.

3.3 гидравлический удар: Повышение или понижение гидродинамического давления в напорном трубопроводе, вызванное резким изменением во времени скорости движения жидкости.

3.4 гидротехнический туннель: Водовод замкнутого поперечного сечения, устроенный в горных породах.

3.5 горное давление: Силы, возникающие в массиве, окружающем выработку (туннель).

3.6 грунт: Горные породы, почвы, техногенные образования, представляющие собой многокомпонентную и многофазную геологическую среду и являющиеся объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека.

3.7 коэффициент крепости породы: Коэффициент, характеризующий прочность горной породы, используемый для выбора поперечного сечения туннеля и для его расчетов.

3.8 напорное движение жидкости: Движение, при котором поток жидкости в туннели не имеет свободной поверхности.

3.9 обделка: Устройство внешнего контура туннеля, контактирующего с горной породой, предназначенного для восприятия внешних и внутренних нагрузок, снижения шероховатости стенок туннеля и сокращения фильтрационных потерь.

3.10 обделки выравнивающие: Обделки, обеспечивающие улучшение гидравлических характеристик туннеля, а также предотвращающие выветривание и размывы грунтов;

3.11 обделки несущие: Обделки, обеспечивающие восприятие нагрузок в строительный и эксплуатационный периоды, а также удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к выравнивающим обделкам.

3.12 подземные воды: Воды, находящиеся в толще земной коры во всех физических состояниях.

3.13 цементация: Инъектирование горных пород при помощи цементных растворов.

Основные буквенные обозначения, принятые в настоящем своде правил приведены в приложении А.

4 Общие положения

4.1 Классы гидротехнических туннелей, входящих в состав сооружений гидроэлектростанций и мелиоративных систем, должны устанавливаться в соответствии со СНиП 33-01. Классы гидротехнических туннелей, предназначенных для систем водоснабжения, должны соответствовать категориям надежности подачи воды, устанавливаемым СНиП 2.04.02.

4.2 В зависимости от назначения гидротехнические туннели подразделяются на:

основные, предназначенные для постоянного пропуска воды при эксплуатации гидроэлектростанций, мелиоративных систем и систем водоснабжения;

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

временные, предназначенные для пропуска воды в период строительства или ремонта гидротехнических сооружений.

При проектировании крупных гидроузлов строительные туннели со сроком эксплуатации свыше 5 лет допускается относить к второстепенным сооружениям.

При проектировании туннелей основного или второстепенного назначения должна быть рассмотрена возможность использования их для пропуска воды в период строительства водоподпорных сооружений.

4.3 В зависимости от гидравлического режима гидротехнические туннели подразделяются на:

напорные, работающие при избыточном внутреннем давлении воды по сравнению с атмосферным;

безнапорные, работающие при неполном наполнении водой.

В гидротехнических туннелях допускается переменный режим работы при обеспечении постепенного перехода из безнапорного режима в напорный и наоборот.

4.4 Основные технические решения проектов новых и реконструкции существующих гидротехнических туннелей (гидравлический режим работы, глубину заложения, расположение в плане и продольном профиле, поперечное сечение, тип обделки и др.) следует принимать на основе сравнения технико-экономических показателей вариантов с учетом общей компоновки сооружений гидроузла, мелиоративной системы или системы водоснабжения, условий их эксплуатации, назначения туннеля, намечаемых способов и сроков строительных работ, топографических, инженерно-геологических, гидрогеологических, климатических и других условий района строительства.

Выбранный вариант проектного решения должен обеспечивать прочность, устойчивость, долговечность и экономичность сооружения, возможность механизации и индустриализации строительных и ремонтных работ, оптимальные эксплуатационные качества туннелей.

4.5 При проектировании гидротехнических туннелей необходимо проводить инженерно-геологические изыскания по всей его трассе.

4.6 При инженерно-геологических изысканиях следует особое внимание уделять тектоническим нарушениям по трассе туннеля и в районе его строительства, положению поверхности подземных вод, возможным оползневым процессам на участках входа и выхода туннеля из грунтового (скального) массива, наличию зон карста по трассе туннеля, локальных выходов агрессивных подземных вод и др.

При строительстве туннеля в условиях вечной мерзлоты необходимо учитывать расчетные величины прочностных, деформационных и теплофизических характеристик пород в мерзлом и оттаявшем состояниях, характер и степень льдистости, температуру веч-

номерзлых пород и температуру воды, протекающей по туннелю, температурное поле при установившемся тепловом режиме в процессе эксплуатации.

4.7 Нормативные и расчетные значения характеристик прочности и деформируемости грунтов определяются в соответствии с положениями СП 23.13330.

На предварительных этапах проектирования нормативные и расчетные характеристики пород могут быть приняты по СП 23.13330.

4.8 В проектах гидротехнических туннелей I и II классов должна предусматриваться установка контрольно-измерительной аппаратуры для проведения натуральных наблюдений за работой сооружения в процессе строительства и в период его эксплуатации, для оценки состояния обделки туннеля, окружающего его грунта, гидравлического и фильтрационного режимов.

5 Трасса и поперечное сечение туннеля

5.1 При проектировании трассы гидротехнического туннеля надлежит использовать рекомендации СП II-104-97, СП II-105-97 и по возможности избегать участков, находящихся в неблагоприятных для сооружения туннеля инженерно-геологических и гидрогеологических условиях (значительные тектонические нарушения, газоносные участки, участки с притоком подземных вод, оползни, карсты) а также участков, характеризующихся неблагоприятными санитарными условиями (скотомогильники, кладбища, свалки) [5].

5.2 Трасса туннеля, как правило, должна быть прямолинейной и минимальной длины. Трассу туннеля следует принимать с учетом компоновки гидроузла, обеспечения достаточной глубины заложения туннеля, необходимости избежать расположения туннеля в неблагоприятных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях, с учетом топографических условий прохождения трассы и принятых способов производства работ.

5.3 Углы поворота трассы туннеля в плане при скорости потока воды до 10 м/с следует принимать не более 60°, а радиусы закруглений – не менее суммарной ширины пяти пролетов (диаметров) туннеля в свету. Увеличение угла поворота и уменьшение радиуса закругления по сравнению с приведенными, а также допускаемые их значения при скорости потока воды свыше 10 м/с требуют специального обоснования.

Начальный и конечной участки криволинейной трассы туннелей следует предусматривать прямолинейными длиной, равной пролету (диаметру) выработки, но не менее 6 м.

5.4 По всей длине напорного туннеля под шельгой свода должен быть обеспечен запас давления не менее 0,02 МПа (0,2 кгс/см²).

5.5 Формы поперечных сечений безнапорных туннелей (рисунок 1), а также соотношение их размеров следует принимать в зависимости от коэффициента крепости грунта по таблице 1.

Коэффициент крепости f принимается равным 10% от предела прочности образца породы на одноосное сжатие (в МПа).

Т а б л и ц а 1

| Форма поперечного сечения туннеля | Коэффициент крепости грунтов f (по Протодяконову) | 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 | $8 > f > 2$ | 0,5 | 0,1 – 0,15 | – | – |
| III | $4 \geq f \geq 2$ | 0,25 | 0,1 – 0,25 | 1 – 9 | – |
| IV | $f < 2$ | 0,5 | 0,1 – 0,15 | 1 – 1,5 | 1 – 1,5 |

Примечания
 1 Данные табл. 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 допускается не устраивать закруглений (углов).

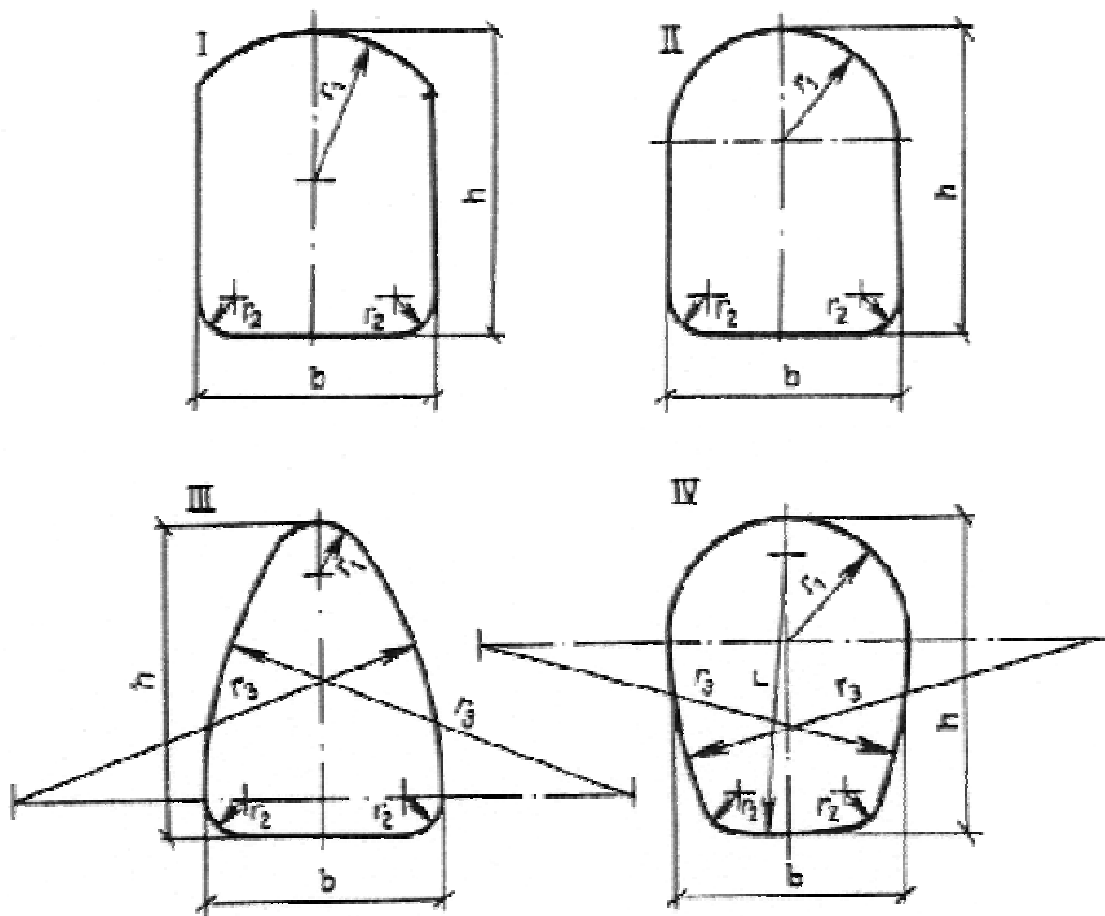


Рисунок 1 - Формы поперечных сечений безнапорных туннелей в свету

5.6 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.

5.7 Поперечное сечение напорных туннелей следует принимать кругового очертания. В устойчивых слаботрещиноватых скальных грунтах допускается принимать некруговое очертание напорного туннеля (см. черт. 1, формы I, II, IV), если при этом удовлетворяются условия прочности обделки.

5.8 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 переменного 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 расчетов.

5.9 Высоту воздушного пространства над уровнем воды в безнапорном туннеле при установившемся движении потока со скоростью до 10 м/с следует принимать по гидравлическому расчету, 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.

5.10 Минимальные размеры поперечного сечения гидротехнических туннелей в свету необходимо принимать с учетом возможности в период строительства, размещения оборудования, коммуникаций, пропуска строительных механизмов и соблюдения требований безопасности при производстве подземных работ.

5.11 Если гидротехнический туннель располагается в вечномерзлых грунтах, то при прочих равных условиях следует принимать туннель с напорным режимом работы.

6 Материалы для конструкций туннелей

6.1 Бетон и арматура для бетонных и железобетонных конструкций туннелей (обделка, порталы и др.) должны удовлетворять требованиям СНиП 2.06.08 и настоящего раздела.

6.2 Классы бетона по прочности на сжатие должны назначаться не ниже для конструкций:

| | |
|---|-----|
| монолитных бетонных и железобетонных..... | B20 |
| сборных железобетонных..... | B30 |
| набрызг-бетонных..... | B25 |

При надлежащем обосновании допускается применение бетона более низких классов со специальными добавками, улучшающими его свойства, а также бетонов на алунитовом и других самоупругающих цементах.

Марки бетона по водонепроницаемости для обделок безнапорных туннелей должны быть не ниже W6, а для обделок напорных туннелей – не ниже W8.

Марки бетона по морозостойкости для бетонных и железобетонных конструкций туннелей должны назначаться в соответствии с требованиями СНиП 2.06.08.

Возраст (срок твердения) бетона, отвечающий его классу по прочности на сжатие и осевое растяжение и маркам по водонепроницаемости и морозостойкости, принимается равным 180 дням. Если известны сроки фактического нагружения конструкций, способы их возведения, условия твердения бетона, вид и качество применяемого цемента, допускается устанавливать класс и марку бетона в ином возрасте.

6.3 При назначении класса и марки бетона обделок туннеля, располагаемого в вечномёрзлых грунтах, необходимо учитывать возможность периодического (сезонного) замораживания и оттаивания бетона.

6.4 Классы набрызг-бетона и торкрета следует назначать по прочности на осевое растяжение не ниже $B_t 2,4$. Значения нормативных и расчетных сопротивлений набрызг-бетона и торкрета должны приниматься, как и для бетонов.

Модули упругости набрызг-бетона и торкрета для классов $B_t 2,4$, $B_t 2,8$, $B_t 3,2$ необходимо принимать равными соответственно $3,25 \times 10^4$, $3,6 \times 10^4$ и $3,9 \times 10^4$ МПа ($3,32 \times 10^5$, $3,67 \times 10^5$ и $3,98 \times 10^5$ кгс/см²).

6.5 Для гидротехнических туннелей следует применять горячекатаную арматурную сталь периодического профиля классов А-II и А-III.

Расчетные сопротивления арматурной стали для железобетона и анкерной крепи должны соответствовать требованиям СНиП 2.06.08.

6.6 Марки стали для стальных оболочек комбинированных обделок необходимо принимать согласно обязательному приложению А.

Расчетные сопротивления прокатной стали и материалы, применяемые для сварки стальных конструкций, следует принимать согласно СНиП II-23.

6.7 Обделки (или их части) гидротехнических туннелей с повышенной кавитационной стойкостью и стойкостью к истиранию необходимо предусматривать из кавитационно-стойких и износостойких бетонов.

6.8 Для бетона бетонных и железобетонных конструкций туннелей следует применять материалы (цементы и заполнители) отвечающие требованиям ГОСТ 26633, приложение 3.

6.9 В бетоны для конструкций туннелей следует вводить пластифицирующие добавки (суперпластификаторы), воздухововлекающие добавки и комплексные добавки поверхностно-активных веществ, отвечающие требованиям СНиП 2.06.08.

В монолитные бетоны и набрызг-бетоны рекомендуется вводить микрокремнезем в количестве 5 – 8% от массы цемента.

7 Конструкция туннелей

Общие конструктивные требования

7.1 При проектировании гидротехнических туннелей должна быть предусмотрена возможность их опорожнения на всем протяжении для осмотра и ремонта.

Допускается не предусматривать опорожнения начальных участков туннелей до затворов. Длина этих участков должна быть минимальной.

7.2 Входы и выходы гидротехнических туннелей должны быть оформлены в виде порталов, которые следует размещать таким образом, чтобы естественное равновесие склонов рельефа было нарушено минимально.

В сейсмических районах порталы не должны выходить за пределы склона. При этом конструкции порталов надлежит принимать простых геометрических форм.

Размеры и конкретные геометрические формы проточной части порталных участков следует определять расчетами или принимать для туннелей I и II классов на основании лабораторных гидравлических исследований.

7.3 При входе в туннель должны быть предусмотрены устройства, исключающие попадание в туннель плавающих посторонних предметов.

На водоприемниках подводящих туннелей гидроэлектростанций обязательна установка сороудерживающих решеток.

7.4 На выходных порталах следует предусматривать устройство безнапорных диффузоров, трамплинов или напорных диффузоров, расширяющихся в плане и уменьшающихся по высоте (для уменьшения размывающего действия водного потока), а также анкерных зубьев с цементацией грунта (для предотвращения подмыва выходных порталов).

Выходные порталы следует конструировать с учетом возможного размыва основания сооружения, русла реки и ее противоположного берега.

7.5 При проектировании гидротехнических туннелей должны быть предусмотрены воздухоподводящие устройства для предотвращения возможного образования вакуума в туннеле.

7.6 Для туннелей, подводящих воду к гидротурбинам или насосам, следует предусматривать возможность гидравлической промывки малыми попусками воды для очистки их от мелкого строительного мусора.

7.7 Конструктивное решение туннелей должно быть увязано с техническими возможностями современной техники и механизмов для устройства обделок туннелей.

Туннели без обделки

7.8 Безнапорные туннели, а также напорные туннели при глубине их заложения не менее половины величины внутреннего напора воды (в метрах), проходящие в слаботрециноватых скальных неразмываемых грунтах (включая материал заполнения трещин) или в вечномерзлых скальных грунтах, не теряющих устойчивости при изменении температурного режима, следует проектировать без обделки.

7.9 При скорости течения воды свыше 10 м/с проектирование туннелей без обделки должно быть обосновано, а для туннелей I и II классов проведением научных исследований.

7.10 Для улучшения гидравлического режима и условий ревизий туннелей без обделки следует, как правило, проектировать туннели с плоским бетонным лотком.

7.11 Начальный и концевой участки необлицованного (напорного или безнапорного) туннеля должны предусматриваться с обделкой на длине, равной пролету (диаметру) выработки, но не менее 6 м.

7.12 В подводящих туннелях (или их участках) без обделки, где возможно нарушение устойчивости отдельных блоков или участков скального массива, должны быть предусмотрены работы по закреплению этих блоков (участков скального массива) анкерами на цементном растворе и набрызг-бетоном. В лотке туннеля должны предусматриваться специальные ловушки для потерявших устойчивость грунта.

Обделки туннелей

7.13 Выравнивающие обделки следует предусматривать из монолитного бетона или набрызг-бетона.

Допускается применять выравнивающие обделки свода и стен туннеля из набрызг-бетона при скоростях воды в туннеле не более 10 м/с; при больших скоростях их применение должно быть обосновано.

Лоток при выравнивающих обделках следует предусматривать бетонным.

Выравнивающие обделки в напорных туннелях следует применять при глубине заложения туннелей не менее половины величины внутреннего напора воды (в метрах).

7.14 Основные виды несущих обделок напорных и безнапорных туннелей и область их применения должны соответствовать указанным в таблице 2.

При щитовом способе проходки туннеля допускается применять обделки из монолитно-прессованного бетона.

Применение обделки из набрызг-бетона с анкерной крепью допускается для туннелей при глубине их заложения не менее половины величины внутреннего напора воды (в метрах). В сильнотрещиноватых грунтах набрызг-бетон необходимо выполнять по металлической сетке.

Сцепление набрызг-бетона с грунтом должно быть не менее 0,5 МПа (50 тс/м²). При соответствующем экспериментальном обосновании допускается применять обделки из набрызг-бетона при меньшем сцеплении и в грунтах с коэффициентом крепости $f = 3$. При наличии давления от грунтовых вод или при цементации грунта требуемая величина сцепления определяется расчетом, но должна быть не менее величины двойного напора воды, действующего на обделку.

В грунтах с коэффициентом крепости f от 4 до 8 для комбинированной обделки из внутренней железобетонной оболочки и наружного сборного железобетонного кольца взамен железобетонной оболочки допускается применять железоторкретную.

7.15 Несущие обделки туннелей надлежит проектировать как нетрещиностойкими (рассчитываемыми по величине раскрытия трещин), так и трещиностойкими (образование трещин не допускается).

Бетонные и железобетонные обделки туннелей следует, как правило, предусматривать нетрещиностойкими.

Трещиностойкими должны быть обделки туннелей, сооружаемых в зонах с выделением сероводорода и в грунтах, подверженных суффозии, выщелачиванию, при гидрокарбонатной щелочности воды в туннеле менее 0,25 мг×экв/л, а также в случаях, когда фильтрация воды может вызвать снижение долговечности обделки и устойчивости грунтового массива.

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 м* | от 30 до 100 | св. 100 | менее 30 м* | от 30 до 100 | св. 100 | менее 30 м* | от 30 до 100 | св. 100 |
| Монолитная: | | | | | | | | | |
| бетонная, | + | + | + | + | + | + | + | - | - |
| из прессованно- | - | - | - | + | - | - | + | - | - |
| го бетона, | | | | | | | | | |
| набрызг-бетон- | + | + | + | + | - | - | - | - | - |
| ная с анкерной | | | | | | | | | |
| крепью, | | | | | | | | | |
| железобетонная. | - | - | + | - | + | + | + | + | + |
| Комбинированная: | | | | | | | | | |
| внутренняя же- | - | - | - | - | + | - | - | - | - |
| лезоторкретная, | | | | | | | | | |
| оболочка, наруж- | | | | | | | | | |
| ный монолитный | | | | | | | | | |
| бетон, | | | | | | | | | |
| внутренняя стал- | - | - | - | - | - | + | - | - | + |
| ьная оболочка, | | | | | | | | | |
| наружный моно- | | | | | | | | | |
| литный бетон или | | | | | | | | | |
| железобетон, | | | | | | | | | |
| внутренняя же- | - | - | - | + | - | - | + | + | - |
| лезобетонная обо- | | | | | | | | | |
| лочка, наружное | | | | | | | | | |
| сборное железобе- | | | | | | | | | |
| тонное кольцо. | | | | | | | | | |

* В том числе безнапорные туннели.

П р и м е ч а н и е - Применение обделок других видов, не приведенных в таблице, допускается при надлежащем обосновании.

7.16 Толщина бетонной или железобетонной несущей обделки должна быть не более 0,15 внутреннего радиуса r_i поперечного сечения туннеля при круговом его очертании или 0,15 половины ширины сечения b при некруговом очертании.

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.

7.17 Минимальную толщину обделок гидротехнических туннелей следует принимать, см:

| | |
|---|----|
| монолитных бетонных и железобетонных..... | 20 |
| внутренней монолитной железобетонной оболочки комбинированных обделок..... | 10 |
| сборных железобетонных..... | 10 |
| из набрызг-бетона: | |
| несущих..... | 10 |
| выравнивающих..... | 5 |
| из железоторкрета..... | 5 |

7.18 Проценты армирования нетрещиностойких железобетонных обделок напорных туннелей следует определять из условия ограничения раскрытия трещин (согласно табл. 7) и фильтрационных потерь, но принимать не менее 0,5 %.

Для трещиностойких обделок напорных туннелей сооружаемых в грунтах с коэффициентом крепости $f < 4$ минимальное армирование необходимо принимать 0,3 %, в грунтах с $f \geq 4 - 0,15$ %.

Минимальное армирование железоторкретных оболочек следует принимать не ниже 1 %.

7.19 В железобетонных обделках напорных туннелей при двухрядном расположении арматуры основную часть расчетной арматуры (60 – 70 %) следует располагать у внутренней поверхности обделки.

В прочных однородных грунтах, а также при использовании временной крепи из металлических арок допускается установка однорядной арматуры, располагаемой у внутренней поверхности обделки.

Продольную распределительную арматуру следует размещать с внутренней поверхности от рабочей с шагом не более 25 см.

В неоднородных грунтах, при карстовых пустотах, тектонических и других нарушениях грунтового массива надлежит предусматривать конструктивные мероприятия, исключающие образование трещин с раскрытием более допустимого.

В железобетонных обделках безнапорных туннелей размещение арматуры определяется расчетом по предельным состояниям первой группы.

7.20 Толщину защитного слоя для рабочей арматуры монолитных железобетонных обделок следует принимать не менее:

40 мм при толщине обделки до 50 см;

50 мм при толщине обделки свыше 50 см.

В агрессивной воде-среде толщина защитного слоя увеличивается на 10 мм.

Минимальную толщину защитного слоя для распределительной арматуры допускается принимать на 10 мм меньше, чем для рабочей.

Для сборных элементов обделки толщину защитного слоя допускается уменьшать на 10 мм по сравнению с установленной для монолитных обделок.

Толщину защитного слоя лотка туннеля необходимо устанавливать с учетом его истирания наносами, но не менее 50 мм.

7.21 Деформационные швы следует располагать в местах примыкания к камерам и на участках туннеля, где элементы обделки могут смещаться.

7.22 Для обеспечения водонепроницаемости строительных и деформационных швов обделок напорных туннелей необходимо предусматривать в швах установку диафрагм, шпонок или других уплотнений.

7.23 Заполнительная цементация в туннелях с обделкой должна предусматриваться во всех случаях, за исключением туннелей с обделками из набрызг-бетона или прессованного бетона.

7.24 При проектировании обделок напорных туннелей, располагаемых в трещиноватых грунтах следует, как правило, предусматривать укрепительную и противодиффузионную цементацию.

7.25 Для улучшения условий работы конструкции обделки, воспринимающей давление подземных вод, следует рассматривать целесообразность применения дренажных устройств и анкеровки обделки в грунт.

7.26 При проектировании безнапорных туннелей, располагаемых в вечномерзлых грунтах, необходимо предусмотреть мероприятия, исключаящие обледенение сводовой части, а также морозное пучение из-за сезонного оттаивания и замерзания грунтов выше уровня протекающей воды.

7.27 В вечномерзлых сильнольдистых грунтах следует применять податливые конструкции обделок (из железобетонных анкеров, набрызг-бетона), а также другие конструкции, способные перераспределять усилия в своих элементах без нарушения их целостности.

7.28 При проектировании туннелей, располагаемых в вечномерзлых грунтах, необходимо учитывать возможность осадки туннеля и поверхности над ним, связанной с образованием зоны оттаивания грунтов.

8 Нагрузки, воздействия и их сочетания

8.1 Нагрузки, воздействия и их сочетания принимаются в соответствии с требованиями СНиП 33-01, а также СНиП 2.01.07 и СП 14.13330 (СНиП II-7).

8.2 К постоянным нагрузкам и воздействиям относят:

горное давление;

вес обделки;

воздействия предварительного напряжения.

8.3 К временным длительным нагрузкам относят:

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

давление подземных вод.

8.4 К кратковременным нагрузкам и воздействиям относят:

давление пульсации 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.

8.5 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 свежеложенного бетона;

давление гидравлического испытания (для стальных оболочек).

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

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

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

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

8.8 Коэффициенты надежности по нагрузкам γ_f при расчете обделок туннелей на прочность и устойчивость (предельные состояния первой группы) следует принимать по таблице 3.

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

Т а б л и ц а 3

| 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 |

Примечание - Значения коэффициентов надежности по нагрузкам, указанные в скобках, относятся к случаям, когда применение меньшего значения коэффициентов приводит к невыгодному случаю загрузки обделки туннеля.

8.9 Определение величины горного давления, а также естественного напряженного состояния грунтового массива необходимо выполнять согласно пп. 8.10 - 8.17, а также на основании опыта строительства и эксплуатации туннелей в аналогичных инженерно-геологических условиях.

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.

8.10 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 весу грунтов в объеме, ограниченном сводом обрушения. При меньшем заглублении туннеля горное давление принимается равным весу всей толщи грунта над ним.

Горное давление допускается принимать равным весу грунта в объеме нарушенной зоны, определенной геофизическими измерениями.

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

$$g_{qzn} = \beta \rho g h_q, \quad (1)$$

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; по интерполяции между 0,7 и 1,0 при $5,5 < b < 7,5$ м;

ρ – плотность грунта, т/м³;

$$g = 9,81 \approx 10 \text{ м/с}^2;$$

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 ($\varphi = \text{arc tg } f$).

Распределение вертикального горного давления принимается равномерным по пролету обделки.

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

$$g_{qzn} = \beta \rho g h_{q1}, \quad (2)$$

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

k_a – коэффициент, принимаемый по таблице 4.

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

В слаботрециноватых грунтах при глубине нарушенной зоны более 1,5 м нормативное вертикальное горное давление g_{qzn} следует уменьшать на 20%.

При комбайновой проходке значение k_a допускается уменьшать на 30%.

Т а б л и ц а 4

| Коэффициент крепости грунта f | Коэффициент k_a при грунтах | | |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| | слаботрециноватых | среднетрециноватых | сильнотрециноватых |
| 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 |

8.13 Нормативное горизонтальное горное давление g_{qxn} , кН/м², следует определять: при сводообразовании в грунтах $f < 4$ – по формуле

$$g_{qxn} = \rho g (h_q + 0,5h) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right); \quad (3)$$

при заглублении кровли менее удвоенной высоты свода обрушения в грунтах с $f < 4$ – по формуле (3) с заменой численного значения h_q на расстояние от кровли выработки до дневной поверхности.

Распределение горизонтального горного давления должно быть равномерным по высоте обделки.

8.14 Нормативное горизонтальное горное давление в слабо- и среднетрещиноватых грунтах с $f \geq 4$ при высоте туннеля менее 6 м допускается не учитывать, а при высоте более 6 м – определять из условия предельного равновесия отдельных скальных блоков, отсеченных трещинами.

Нормативное горизонтальное горное давление в сильнотрещиноватых грунтах с $f \geq 4$ допускается учитывать по формуле

$$g_{qxn} = 0,1 \rho g h. \quad (4)$$

8.15 Для выработок глубокого заложения (свыше 500 м) величину горного давления следует определять с учетом пластического состояния грунтов и других специфических явлений.

При отсутствии необходимых данных допускается на начальных стадиях проектирования выработок глубокого заложения определять горное давление на основе опыта строительства туннелей в аналогичных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях.

8.16 В выработках глубокого заложения, расположенных в глинистых и других слабых грунтах с $f < 4$, оказывающих значительное равномерное давление на конструкцию туннеля, нагрузку на обделку следует определять с учетом ожидаемых смещений грунта до устройства временной крепи и податливости этой крепи в соответствии с требованиями СНиП II-94-80, а также податливости самой обделки.

8.17 При расчете обделки горное давление необходимо определять по характеристикам грунтов с учетом условий эксплуатации (изменения свойств массива грунтов при их водонасыщении) [3].

8.18 При расчете обделок напорных туннелей, располагаемых в водопроницаемых грунтах, включение в одно сочетание нагрузок от внутреннего давления воды и наружного давления подземных вод не допускается. В исключительных случаях, когда во всех возможных (включая аварийные) эксплуатационных ситуациях гарантировано всесторон-

нее равномерное наружное давление воды непосредственно на обделку, допускается включать в одно сочетание с внутренним давлением минимальное значение наружного давления подземных вод с коэффициентом надежности по нагрузкам, равным 1.

8.19 Давление подземных вод следует определять при установившемся уровне воды в водохранилище с учетом снижения давления подземных вод, предусмотренными для этих целей дренажными устройствами и цементационными завесами.

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

9 Основные положения по расчету обделок

9.1 Обделки гидротехнических туннелей, согласно СНиП 33-01, 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).

9.2 Сечения обделок по предельным состояниям первой и второй групп необходимо рассчитывать в соответствии со СНиП 2.06.08 и СНиП II-23.

9.3 При расчетах сечений туннельных обделок необходимо вводить следующие коэффициенты:

коэффициенты надежности по назначению сооружения γ_n и сочетаний нагрузок γ_{lc} , принимаемые согласно СНиП 33-01;

коэффициент условий работы γ_c , принимаемый для бетонных, железобетонных и сталежелезобетонных обделок по таблице 5, для стальных оболочек – по таблице 6.

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

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

Т а б л и ц а 5

| 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) |
| Сталежелезобетонные (при расчете на внутреннее давление). | 0,9 | – |

П р и м е ч а н и е -. Значения коэффициентов, указанные в скобках, следует принимать при коэффициенте удельного отпора $K_0 < 2000 \text{ Н/см}^3$ (200 кгс/см^3), в грунтах, подверженных суффозии, выщелачиванию, а также при гидрокарбонатной щелочности воды-среды менее $0,25 \text{ мг} \times \text{экв/л}$.

Т а б л и ц а 6

| 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 |

П р и м е ч а н и я

1 Значения коэффициента γ_c , указанные в скобках, должны приниматься:

- а) для комбинированных обделок с наружным монолитным железобетоном (сталежелезобетонных);
- б) для комбинированных обделок с наружным монолитным бетоном при одновременном выполнении следующих условий:

$$p_{wi} \leq 0,15 \cdot 10^{-2} K_0 ;$$

$$p_{wi} \leq 10^{-3} \rho g h_{qz} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha),$$

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_0 – коэффициент удельного отпора грунта, Н/см^3 , определяемый по п. 9.13;

в) при расчете на внутреннее давление, если отпор грунта не учитывается.

2 При использовании коэффициента γ_c по данной таблице коэффициент сочетаний нагрузок γ_{lc} следует принимать равным 1.

9.6 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 величина

давления, передаваемого на грунт обделкой туннеля, не должна превышать веса толщи грунта над туннелем.

9.7 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 пп. 9.4 и 9.5 на каждое из сочетаний нагрузок. Сложение эпюр усилий от отдельных нагрузок для получения суммарной эпюры не допускается.

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

9.9 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 7.

Т а б л и ц а 7

| 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' мг/л | | |
| | 0,25 | 1 | 2 | 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 |

Примечания

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.

2 Для туннелей II, 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.

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

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

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

где H_i – внутренний напор воды, м;

H_{el} – напор подземных вод, м;

h_k – толщина обделки, м.

В интервале $10^{-4} < k < 10^{-2}$ значение J_H определяется по интерполяции.

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

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

обделки безнапорных туннелей и опорожненных напорных туннелей по предельным состояниям первой и второй групп 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 $E_k = 0,7E_b$.

9.13 Расчет обделок туннелей следует выполнять с учетом взаимодействия их с грунтовым массивом. Деформационные свойства грунта характеризуются коэффициентом удельного отпора K_o или приведенным (эффективным) модулем деформации грунта E_q и коэффициентом Пуассона ν . Приведенный модуль деформации необходимо определять с учетом неоднородности свойств грунта от естественных и техногенных причин (закрепление грунтов цементацией или иными способами, появление нарушенной проходкой зоны и др.). Значения характеристик грунтов следует определять с учетом их свойств при водонасыщении на основании натуральных исследований.

Для напорных туннелей кругового очертания, располагаемых в однородных изотропных грунтах, модуль деформации грунта E_q допускается определять по формуле

$$E_q = K_o (1 + \nu) \quad (5)$$

где $K_o = \frac{K_{r_e}}{100}$ – коэффициент удельного отпора грунта;

K – коэффициент отпора грунта;

r_e – наружный радиус обделки, см.

Для туннелей, располагаемых в анизотропных грунтах с отношением модулей деформации в разных направлениях более 1,4, расчеты необходимо выполнять с учетом анизотропии.

9.14 Деформационные характеристики грунтов K_o или E_q для туннелей I и II классов следует определять на характерных инженерно-геологических участках по данным натурных исследований, выполненных методом напорных выработок, с помощью установки центрального нагружения (УЦН) и цилиндрического гидравлического штампа (ЦГШ), а также штампов в сочетании с сейсмоакустическими и прессиомерическими методами.

Для туннелей III и IV классов надлежит предусматривать натурные исследования сейсмоакустическими и прессиомерическими методами. Допускается также использовать значения физико-механических характеристик грунтов, выявленных при проходке туннелей в аналогичных инженерно-геологических условиях.

9.15 Для проектирования гидротехнических туннелей, располагаемых в вечномерзлых грунтах, необходимо определять значения физико-механических характеристик грунтов в мерзлом и талом состояниях.

9.16 Для предварительных расчетов значения коэффициентов удельного отпора K_o для среднетрещиноватых грунтов допускается определять по черт. 2 или по аналогам.

Пр и м е ч а н и е - В слаботрещиноватых грунтах $f \leq 10$, а также при комбайновой проходке туннеля значения K_o , полученные по рисунку 2, следует увеличивать на 30%.

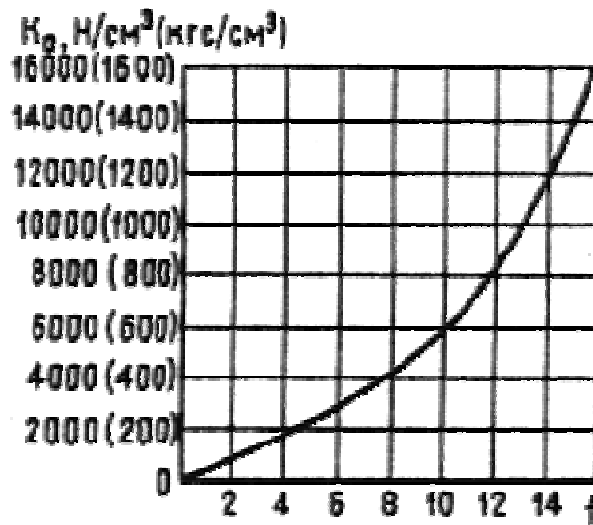


Рисунок 2 - График зависимости коэффициента K_o от коэффициента крепости грунта f для трещиноватых грунтов

9.17 В расчетах обделок туннелей необходимо учитывать совместную работу устанавливаемой при проходке туннеля крепи с обделкой.

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

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

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

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

9.22 Толщину лотка туннеля, подверженного воздействию влекаемых насосов, следует назначать с учетом возможности истирания лотка.

Приложение А
(рекомендуемое)

**Расчет обделок туннелей
по предельным состояниям первой группы
при предварительных расчетах**

А.1 Расчет бетонных и железобетонных обделок произвольного очертания

В расчетной схеме, как правило, предполагается, что нагрузки, в том числе и горное давление, заданы, а отпор грунта определяется как реакция упругого основания. Возможные простейшие расчетные схемы обделок как стержневых систем в упругой среде с односторонними связями показаны на рисунке А.1.

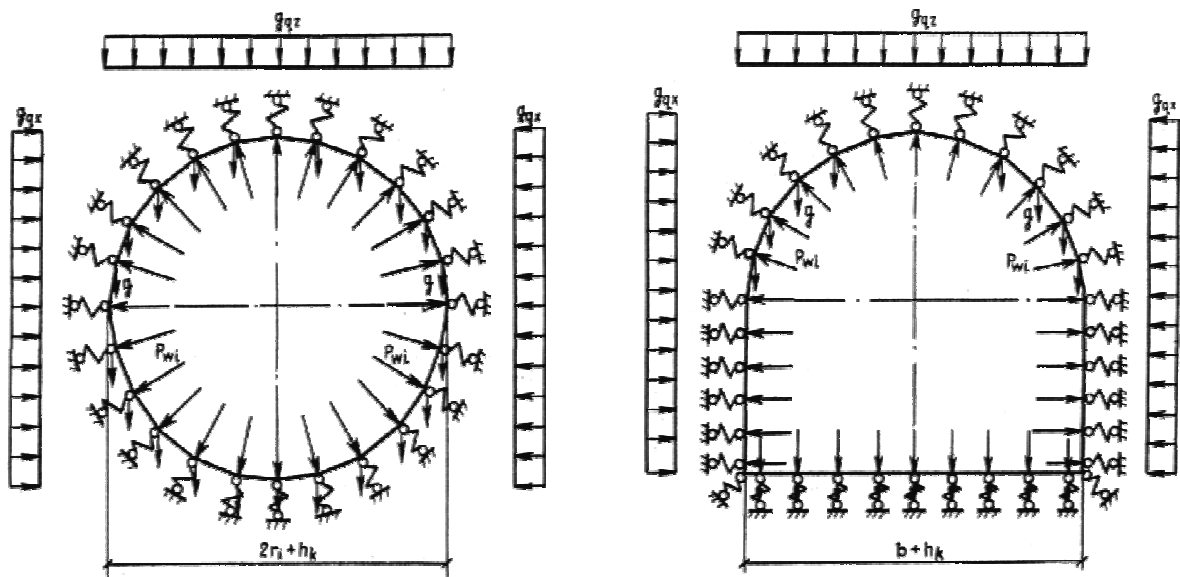


Рисунок А.1 - Расчетные схемы обделок туннелей

Расчет прочности следует выполнять на расчетные нагрузки (с учетом коэффициентов надежности по нагрузкам) в соответствии с раздел 8, жесткость принимать в соответствии с п. 6.12, коэффициенты отпора грунта – в соответствии с пп. 9.13 и 9.16.

Расчет сечений обделок и определение необходимой площади сечения арматуры A_s следует производить по СНиП 2.06.08.

А.2 Расчет сталежелезобетонных, железобетонных, армированных набрызг-бетонных и железоторкретных обделок напорных туннелей кругового очертания на начальных стадиях проектирования

На начальных стадиях проектирования расчет напорных туннелей выполняется по приближенным формулам, которые учитывают только внутреннее давление, постоянное в пределах сечения.

Площадь сечения рабочей арматуры A_s , см^2 , на 1 см длины туннеля:

при соблюдении условия

$$h_{qz} \geq \frac{K_0 r_i \gamma_c R_{st}}{r_e \rho g E_s \gamma_n \gamma_{lc}} \quad (1)$$

определяется по формуле

$$A_s = \frac{\gamma_n \gamma_{lc} P_{wi} r_i}{\gamma_c R_{st}} - \frac{A_{ss} R_y}{R_{st}} - \frac{K_0 r_i}{E_s}, \quad (2)$$

при несоблюдении условия (1) – по формуле

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

где ρ_{wi} – расчетное внутреннее давление воды с учетом гидравлического удара в период нормальной эксплуатации, МПа;

h_{qz} – расстояние от шельги свода туннеля до поверхности земли, см;

R_{st}, E_s – расчетное сопротивление арматуры на растяжение и модуль упругости арматуры, МПа;

A_{ss} – площадь сечения стальной оболочки, см², на 1 см длины туннеля;

R_y – расчетное сопротивление стальной оболочки, принимаемое по СНиП II-23, МПа;

K_0 – коэффициент удельного отпора грунта, Н/см³;

ρ – плотность грунта, кг/см³;

$\gamma_c, \gamma_n, \gamma_{lc}$ – коэффициенты, принимаемые согласно п. 9.3.

Если по формулам (2) или (3) $A_s < 0$ (т. е. расчетной арматуры не требуется и внутреннее давление воды полностью воспринимается грунтом), следует принимать значение A_s по минимальному проценту армирования согласно п. 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 табл. 1.

А.3.2 Стальные оболочки следует рассчитывать на действие внутреннего давления воды в туннеле, наружного давления подземных вод, раствора (при цементации) и свежеуложенного 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 1

| Марка стали | ГОСТ или ТУ | Толщина листового проката, мм | Категория стали при расчетной температуре t , °С | | |
|-------------|-----------------|-------------------------------|--|--------------------|--------------------|
| | | | $t \geq -40$ | $-40 > t \geq -50$ | $-50 > t \geq -65$ |
| ВСт3Гпс | ГОСТ 380-71 | 10 – 30 | 5 | – | – |
| 18Гпс | ГОСТ 23570-79 | 10 – 30 | + | – | – |
| 09Г2 гр. 1 | ТУ 14-1-8023-80 | 11 – 20 | 12 | – | – |
| 09Г2 | ГОСТ 19282-73 | 10 – 32 | 12 | – | – |
| 09Г2С гр. 1 | ТУ 14-1-3023-80 | 10 – 20 | 12 | 13 | 15 |
| 09Г2С | ГОСТ 19282-73 | 10 – 60 | 12 | 13 | 15 |
| 10ХСНД | ГОСТ 19282-73 | 10 – 40 | 12 | 13 | 15 |

Примечания

1 Знак “+” означает, что категорию стали и требования к ней указывать в проекте не следует; 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 пп. 8.8 и 9.3.

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

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

при этом необходимо соблюдать условия:

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

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 – расчетные сопротивления стали растяжению, сжатию, изгибу, МПа, соответственно по временному сопротивлению и по пределу текучести, принимаемые по СНиП II-23;

γ_u – коэффициент надежности для элементов конструкций, рассчитываемых на прочность по временному сопротивлению, равный 1,3.

А.3.4 Нормальное напряжение σ_z , МПа, в продольных сечениях оболочки от внутреннего давления воды следует определять по формулам:

$$\sigma_z = \frac{p_{wi} r_m + a_r K_{0r}}{t + 4,33 \cdot 10^{-6} r_m K_{0r}} \quad (5)$$

где p_{wi} – расчетное внутреннее давление воды, МПа;

r_m – средний радиус оболочки, см;

t – толщина стенки оболочки, см;

a_r – расчетный радиальный зазор между оболочкой и бетоном, см;

K_{0r} – приведенный коэффициент удельного отпора грунта, Н/см³, определяемый по формуле

$$K_{0r} = \frac{1}{\frac{1}{E_b} \ln \frac{r_e}{r_m} + \frac{1}{K_0}}; \quad (6)$$

r_e – наружный радиус бетонной обоймы, см;

E_b – модуль упругости бетона, МПа;

б) при отсутствии отпора грунта или при

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

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

А.3.5 Расчетный радиальный зазор между оболочкой и бетоном a_r , см, следует определять по формуле

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

где a_{r1}, a_{r2}, a_{r3} – составляющие радиального зазора соответственно от температурных воздействий, усадки бетона и ползучести грунта, см.

Составляющую зазора от температурных воздействий a_{r1} следует определять по формуле

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

где t_{\max} – наибольшая температура в туннеле при заполнительной цементации, °С;

t_{\min} – минимальная температура воды или воздуха в туннеле, °С.

Составляющие зазора от усадки бетона a_{r2} и ползучести грунта a_{r3} , определяемые по данным исследований, следует учитывать только при расчете на особые сочетания нагрузок.

Для предварительных расчетов допускается принимать

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

А.3.6 Нормальное напряжение σ_z МПа, в продольных сечениях оболочки от наружного давления следует определять по формуле

$$\sigma_z = \frac{\rho_{we} r_m}{t}, \quad (11)$$

где ρ_{we} – расчетное наружное давление МПа.

А.3.7 Нормальное напряжение, МПа, в поперечном сечении оболочки следует определять:

от температурных воздействий – по формуле

$$\sigma_{x1} = -2,52 t_d, \quad (12)$$

где t_d – расчетный перепад температур, °С;

от стеснения поперечной деформации – по формуле

$$\sigma_{x2} = 0,3 \sigma_z. \quad (13)$$

А.3.8 Расчетные перепад температур t_d следует определять по формулам:

при повышении температуры

$$t_d = t_{\max} - t_{b,\min}, \quad (14)$$

при понижении температуры

$$t_d = t_{\min} - t_{b,\max}, \quad (15)$$

где t_{\max}, t_{\min} – соответственно наибольшая и наименьшая температура воды или воздуха в туннеле, °С;

$t_{b,\max}, t_{b,\min}$ – соответственно наибольшая и наименьшая температура оболочки в период обетонирования, °С.

А.3.9 Местные напряжения, возникающие в стальной оболочке у ребер жесткости, а также в местах перелома, образующих под углом не более 10°, допускается не учитывать.

А.3.10 Расчет на устойчивость стальной оболочки при действии наружного давления ρ_{we} МПа, следует выполнять по формуле

$$\rho_{we} < \frac{\gamma_c \rho_{cr} \zeta}{\gamma_n}, \quad (16)$$

где ρ_{cr} – критическое наружное давление, МПа;

ζ – коэффициент, принимаемый по таблице 2.

При $\frac{\rho_{cr} r_m}{t R_{yn}} > 2,5$ следует принимать

СНиП (проект, 1 редакция)

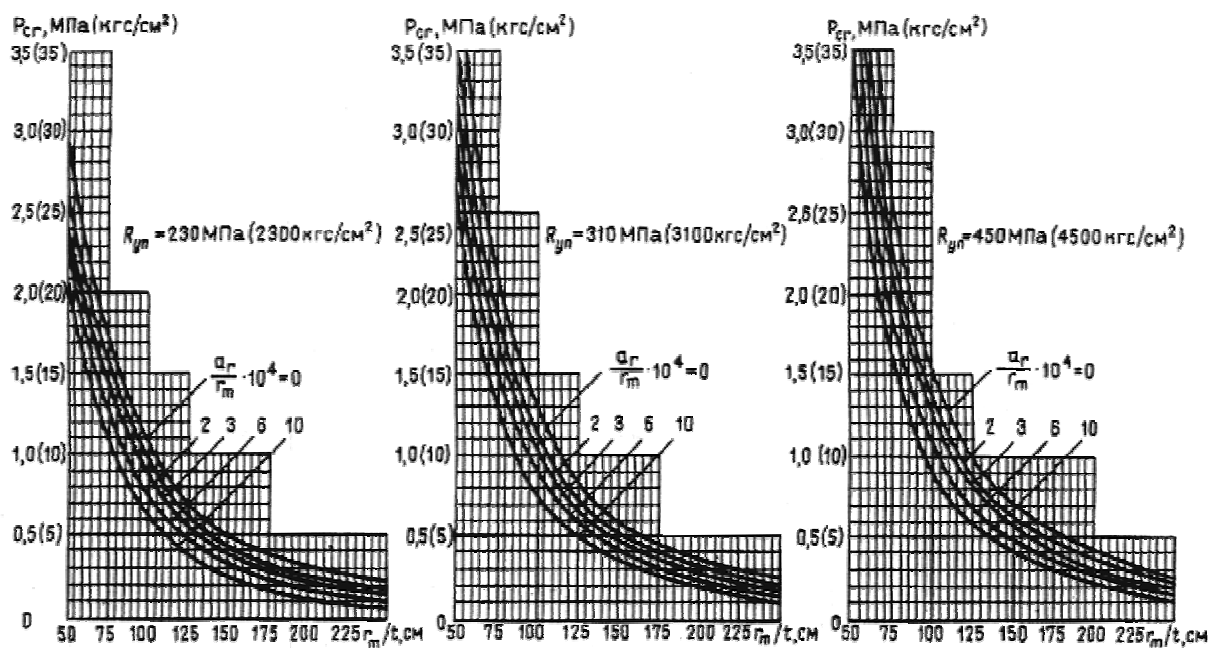
$$\rho_{cr} \zeta = \frac{R_{yn} t}{r_m}$$

где R_{yn} – нормативный предел текучести стали, МПа.

Т а б л и ц а 2

| $\rho_{cr} r_m / t R_{yn}$ | 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 определить графически по рисунку А.2. Разрешается также в этом случае выполнять расчет на устойчивость по стандартным программам на ЭВМ.



R_{yn} - нормативное сопротивление по пределу текучести стали, МПа (кгс/см²);
 a_r - расчетный радиальный зазор между стенкой оболочки и бетоном, см;
 r_m - средний радиус оболочки, см; t - толщина стенки оболочки, см

Рисунок А.2 - Графики зависимости критического наружного давления ρ_{cr} от относительной толщины стенки r_m/t

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

$$\rho_{cr} = 0,92E_s \frac{t}{l} \left(\frac{t}{r_m} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (17)$$

$$\text{при } 0,5 \leq \frac{l}{r_m} \leq 2;$$

$$\rho_{cr} = E_s \frac{t}{r_m} \left[\frac{1}{n_w^2 m^2} + 0,092 \left(\frac{t}{r_m} \right)^2 n_w^2 \left(1 + \frac{2}{m} \right) \right] \quad (18)$$

$$\text{при } \frac{l}{r_m} < 0,5,$$

где E_s – модуль упругости стали, МПа,

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

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

А.3.13 Кольца жесткости надлежит проектировать минимального поперечного сечения с целью уменьшения габаритов выломки.

Рекомендуется предусматривать анкеровку колец жесткости в бетоне. В случае невозможности анкеровки расчет кольца жесткости прямоугольного поперечного сечения следует производить по формуле

$$\gamma_n \frac{\rho_{we} l_s r_m}{\gamma_c A_r} \left(1 + \frac{Y_r}{r_r} X \right) + \frac{Y_r E_s a_r}{r_r^2} X \leq R_y, \quad (19)$$

где t_r – толщина кольца жесткости, см;

Y_r – расстояние от центра тяжести сечения кольца до наиболее удаленного волокна, см;

X – коэффициент, определяемый по рисунок А.3 в зависимости от значения величин:

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

$$a_{rel} = \frac{a_0}{a_r + \frac{\rho_{we} l_s r_m r_r \gamma_n}{\gamma_c E_s A_r}},$$

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.

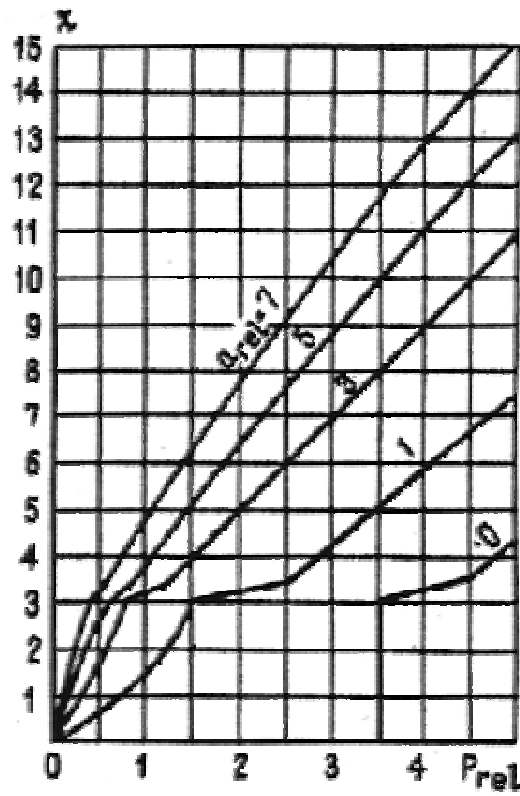


Рисунок А.3 - График зависимости коэффициента X от ρ_{rel} при $a_{rel} = const$

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 8 и 9 с учетом коэффициента отпора грунта, жесткость сечения принимается согласно п. 9.12.

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

Трещиностойкие обделки, проектируемые для условий, отвечающих п. 7.16, следует проверять по образованию трещин согласно СНиП 2.06.08.

Расчет обделок по раскрытию трещин должен проводиться согласно разделам Б.4 и Б.5 настоящего приложения.

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

На начальной стадии проектирования расчет по образованию трещин трещиностойких обделок, проектируемых для условий, отвечающих п. 7.16, допускается выполнять по формулам (1) и (2), обеспечивающим трещиностойкость при действии внутреннего давления.

Толщину обделки h_k , см, следует вычислять по формулам:
при коэффициенте удельного отпора грунта $K_0 < 2000 \text{ Н/см}^3$

$$h_k = \frac{r_i}{1 + \frac{30\mu}{R_{bt}}} \left(\frac{\rho_{win}}{\gamma_c R_{bt}} - \frac{K_0}{E_k} \right), \quad (1)$$

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

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

R_{bt} – нормативное сопротивление материала обделки на растяжение, принимаемое по СНиП 2.03.01-84 в соответствии с классом бетона, МПа;

μ – коэффициент армирования сечения;

в слаботрещиноватых грунтах при $K_0 > 2000 \text{ Н/см}^3$

$$h_k = \frac{r_i (\rho_{win} - K_0 \varepsilon)}{\gamma_c R_{bt} \left(1 + \frac{30\mu}{R_{bt}} \right) + K_0 \varepsilon}, \quad (2)$$

СНиП (проект, 1 редакция)

где $\varepsilon = 0,25 \cdot 10^{-4} \gamma_c R_{btm} \lg(0,05K_0 + 10)$.

Б.3 Расчет по образованию трещин (на трещиностойкость) обделок из набрызг-бетона на внешнее давление

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

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

где g_{qzn} – нормативная величина вертикального горного давления (п. 8.13), МПа.

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

ρ_{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

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

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

h_{q1} – глубина нарушенной зоны, м (п. 8.13);

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

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

в) прочности закрепления анкера – по формуле

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

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

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

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

$$a_{crc} = 100c_{crc} \frac{\rho_{win}}{K_0}, \quad (7)$$

где $c_{crc} = 0,28 + 625 \frac{\rho_{win}}{K_0} \leq 1$.

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

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

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

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, определяющая согласно обязательному приложению 1 или принимаемая в соответствии с п. 7.19);

d – диаметр стержней арматуры, мм.

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

для изгибаемых элементов

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

для центрально растянутых элементов

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

для внецентренно растянутых и внецентренно сжатых элементов при больших эксцентриситетах

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

для внецентренно растянутых элементов при малых эксцентриситетах:

для более растянутой арматуры

$$\sigma_s = \frac{N_n e_c}{A_s (h_0 - a_c)}; \quad (12)$$

для менее растянутой арматуры

$$\sigma_s = \frac{N_n e_t}{A_s (h_0 - a_c)}, \quad (13)$$

где M_n , N_n – нормативные изгибающий момент и продольное усилие, определяемые в соответствии с обязательным приложением 1 (по стандартным программам);

z – плечо внутренней пары сил, принимаемое по результатам расчета сечения на прочность;

h_0 – рабочая высота сечения;

e_t – расстояние от центра тяжести площади сечения растянутой арматуры до продольной силы N_n ;

e_c – расстояние от центра тяжести площади сечения сжатой арматуры до продольной силы N_n .

Определяемая расчетом ширина раскрытия трещин должна быть не более величин, приведенных в таблице 7.

Примечание - В формуле (11) знак "+" принимается при внецентренном растяжении, знак "-" – при внецентренном сжатии.

Приложение В
(рекомендуемое)

**Расчет величины фильтрационного расхода
воды из напорного туннеля**

В.1 Допустимость величины фильтрационного расхода воды Q , л/с×см, отнесенного к 10 м разности внутреннего и внешнего напоров воды, надлежит определять по формуле

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

где k_{crc} – коэффициент водопроницаемости трещин в обделке (расход воды, см³/с через 1 см трещины, при градиенте напора, равном 1), определяемый по формуле

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

n_{crc} – количество трещин в обделке: бетонной – $n_{crc} = 0,0628 r_e$; железобетонной –

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

μ – коэффициент армирования сечения обделки;

d – диаметр арматуры, см;

r_e – наружный радиус обделки, см;

k – коэффициент фильтрации грунта, см/с;

M_f – модуль формы, характеризующий геометрическое соотношение между элементами зоны фильтрации и определяемый по формуле

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

r_f – радиус области фильтрации, принимаемые по опытным данным, а при их отсутствии – равным двойной глубине заложения туннеля, см;

Q_{adm} – допускаемая величина фильтрационного расхода воды, отнесенная к единице разности внутреннего и наружного давлений и определяемая на основании технико-экономических расчетов. Для предварительных расчетов допускается принимать: $Q_{adm} = 1$ л/с на 1000 м² поверхности туннеля на каждые 10 м разности напоров – при разности внутреннего и наружного напоров 100 м и менее; Q_{adm} от 0,3 до 0,5 л/с на 1000 м² поверхности туннеля на каждые 10 м разности напоров – при разности внутреннего и наружного напоров свыше 100 м.

В.2 Абсолютную величину фильтрационного расхода воды из туннеля Q_{adm} , л/с, следует определять по формуле

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

где l – длина туннеля, см.

В.3 Для снижения фильтрационного расхода воды из туннеля следует предусматривать применение специальных покрытий на основе полимерных вяжущих материалов, укрепительную цементацию и другие конструктивные мероприятия.

Приложение Г
(справочное)

Основные буквенные обозначения

| | |
|---|---|
| Основные характеристики грунтов | ρ_{win} - нормативное внутреннее давление воды. |
| f - коэффициент крепости; | Характеристика материалов |
| K - коэффициент отпора; | E_k - модуль упругости обделки; |
| K_0 - коэффициент удельного отпора; | E_b - модуль упругости бетона; |
| E_q - модуль деформации; | E_s - модуль упругости арматуры; |
| ν - коэффициент Пуассона; | R_{st} - расчетное сопротивление арматуры растяжению; |
| φ - кажущийся угол внутреннего трения; | R_{yn} - нормативное сопротивление по пределу текучести стали; |
| c - сцепление грунта; | R_u, R_y - расчетное сопротивление стальной оболочки растяжению, сжатию и изгибу соответственно по временному сопротивлению и по пределу текучести; |
| ρ - плотность грунта; | R_{btm} - нормативное сопротивление бетона растяжению; |
| M_q - модуль трещиноватости; | R_{bt} - расчетное сопротивление набрызг-бетона осевому растяжению; |
| g_{qzn} - нормативное вертикальное горное давление; | R_{as} - расчетное сопротивление растяжению стержня анкера. |
| g_{qxn} - нормативное горизонтальное горное давление; | Геометрические характеристики |
| h_q - высота свода обрушения; | h - высота выработки; |
| b_q - пролет свода обрушения; | b - пролет выработки; |
| h_{q1} - глубина нарушенной зоны; | h_k - толщина обделки; |
| h_{qz} - высота толщи грунта над туннелем. | t_b - толщина покрытия набрызг-бетона; |
| Нагрузки и воздействия, усилия от них | r_i - внутренний радиус обделки; |
| M_n, N_n - нормативные изгибающий момент и нормальная сила; | r_e - наружный радиус обделки; |
| H_i - внутренний напор воды; | r_m - средний радиус оболочки; |
| H_e - напор подземных вод; | t - толщина стальной оболочки; |
| H_{el} - гарантированный напор подземных вод; | A_s - площадь сечения арматуры; |
| ρ_{wi} - расчетное внутреннее давление воды; | h_0 - рабочая высота сечения; |
| a_c - расстояние от равнодействующей усилий | Коэффициенты |

| | |
|---|---|
| в сжатой арматуре до ближайшей грани сечения; | |
| e_b, e_c - расстояние от центра тяжести площади сечения соответственно растянутой и сжатой арматуры до продольной силы; | γ_f - коэффициент надежности по нагрузкам; |
| μ - коэффициент армирования сечения; | γ_n - коэффициент надежности по назначению сооружения; |
| d - диаметр анкера; | γ_{lc} - коэффициент сочетаний нагрузок; |
| A_{ss} - площадь сечения стальной оболочки. | γ_c - коэффициент условий работы. |

Библиография

- 1 Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. №184-ФЗ «О техническом регулировании»
- 2 Федеральный закон от 21 июня 1997 г. №117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений»
- 3 Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
- 4 Руководство по проектированию гидротехнических туннелей. М. Стройиздат, 1982.
- 5 Подземные гидротехнические сооружения под ред. В.М. Мосткова. М. Высшая школа, 1986
- 6 Зерцалов М.Г. Механика грунтов. Введение в механику скальных грунтов. М., АСВ, 2006

СНиП (проект, 1 редакция)

УДК _____

ОКС 93.160

Код продукции

Ключевые слова:

Руководитель организации-разработчика
ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

Наименование организации

Генеральный директор

Е.Н. Беллендир
инициалы, фамилия

Первый заместитель
генерального директора

Должность

В.Б. Глаговский
инициалы, фамилия

Руководители разработки
Помощник генерального директора

Должность

А.П. Пак
инициалы, фамилия

Главный научн.сотр., д.техн.наук

Должность

В.Б.Судаков
инициалы, фамилия

Профессор, д.техн.наук

Должность

А.Л.Гольдин
инициалы, фамилия