

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

**Проектирование тоннеля, сооружаемого методом
щитовой проходки**

Методические указания к выполнению курсовой работы
и практических заданий по дисциплине
«Тоннельные пересечения на транспортных магистралях»
для студентов специальности
271501 – Строительство железных дорог, мостов
и транспортных тоннелей

Белгород
2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова
Кафедра автомобильных и железных дорог

Утверждено
научно-методическим советом
университета

**Проектирование тоннеля, сооружаемого методом
щитовой проходки**

Методические указания к выполнению курсовой работы
и практических заданий по дисциплине
«Тоннельные пересечения на транспортных магистралях»
для студентов специальности
271501 – Строительство железных дорог, мостов
и транспортных тоннелей

Белгород
2013

УДК 625.7
ББК 39.311я 7
П79

Составители: канд. техн. наук, ст.преп. Н.В. Селицкая
ассистент А.В. Сачкова
Рецензент канд. техн. наук, проф. Г.С. Духовный

Проектирование тоннеля, сооружаемого методом щитовой П79 проходки: методические указания к выполнению курсовой работы и практических заданий / сост.: Н.В.Селицкая, А.В. Сачкова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – 28 с.

В методических указаниях содержатся необходимые сведения по проектированию плана и профиля трассы тоннеля, оценки инженерно-геологической и гидрологических условий залегания тоннеля, конструированию и расчету тоннельной обделки. Также приведены методы расчета параметров тоннелепроходческого комплекса и основные меры безопасности при строительстве тоннеля.

Методические указания предназначены для студентов специальности 270204 – Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей.

Издание публикуется в авторской редакции.

УДК 625.7
ББК 39.311я 7

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2013

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовой проект на тему "Проектирование тоннеля, сооружаемого методом щитовой проходки" по дисциплине "Тоннельные пересечения на транспортных магистралях" для студентов специальности "Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей" содержит ряд задач по проектированию плана и профиля тоннеля и технологии его возведения.

Курсовой проект направлен на закрепление теоретических знаний, приобретение практических навыков студентами и развитие элементов творческого поиска по таким разделам проектирования железнодорожного тоннеля, как [1], [2]:

- проектирование плана и профиля тоннеля;
- проектирование и расчет тоннельной обделки;
- подбор тоннелепроходческого комплекса;
- обеспечение безопасности при строительстве тоннеля.

СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовой проект состоит из расчетной и графической частей. Расчетная часть проекта оформляется пояснительной запиской объемом 20-25 страниц и включает: титульный лист; задание; содержание; введение; разделы расчетной части проекта; заключение; список использованной литературы.

Во введении приводятся назначение транспортных тоннелей, цель и общие задачи курсового проекта.

В расчетной части проекта должны быть представлены следующие разделы.

1. Исходные данные для проектирования (описание района строительства, грунтово-геологических условий заложения тоннеля, геологический разрез).

2. Проектирование плана и профиля тоннеля (оценка грунтово-геологических условий заложения, проектирование плана и профиля).

3. Проектирование и расчет тоннельной обделки.

4. Выбор тоннелепроходческого комплекса и расчет его основных показателей.

5. Обеспечение безопасности при строительстве тоннеля.

В заключении приводятся основные выводы, полученные в результате выполнения курсового проекта.

Графическая часть проекта состоит из профиля транспортного тоннеля и схемы тоннельной обделки.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТЫ

Пояснительная записка должна состоять из титульного листа, задания на проектирование, содержания, текста пояснительной записки и списка использованной литературы.

Текст пояснительной записки с необходимыми расчетами, обоснованиями, рисунками, таблицами и титульный лист должны быть написаны на стандартных листах формата А4 и оформлены в соответствии с ЕСКД. Формулы приводятся с расшифровкой всех символов и с последующей подстановкой числовых величин. Страницы пояснительной записки подлежат сквозной нумерации, ссылки на литературу указываются в квадратных скобках, список литературы составляется в порядке ее использования.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Исходными данными являются:

- данные о инженерно-геологических и гидрологических условий проложения трасы тоннеля;
- назначение тоннеля (железнодорожный или автодорожный);
- габарит поперечного сечения;
- длины тоннеля и расположение его в плане и профиле.

СТРУКТУРА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

1. Оценка инженерно-геологических и гидрологических условий

Тоннели сооружаются в толще земной коры, и их конструкции, методы и средства строительства в большой мере зависят от свойств горного массива, в котором сооружается тоннель. Можно сказать, что весь ход сооружения тоннеля, его стоимость, сроки выполнения определяются в основном геологическими и гидрогеологическими условиями, в которых сооружается тоннель.

В связи с этим большое значение для успешного хода строительства имеют инженерно-геологические исследования района строительства.

В программу инженерно-геологического обследования района строительства тоннеля входят следующие виды работ:

1. Изучение имеющихся литературных и картографических материалов по топографии, геологии и гидрогеологии района.

2. Проведение инженерно-геологической съемки территории строительства, заключающейся в изучении обнажений земной коры, устойчивости грунтовых масс, мощности и химического состава источников, выходящих на поверхность и т.п.

3. Назначение вариантов трассы для детальных геологоразведочных работ.

4. Детальные глубинные геологоразведочные работы и гидрогеологические исследования с лабораторным изучением физико-механических свойств пород и химического состава подземных вод.

Наиболее эффективным методом глубинного исследования горного массива является бурение скважин с отбором пород через 0,5 м в слабых породах. Скважины располагают вдоль оси тоннеля через 150 м. Глубину скважин назначают на 6 м больше глубины заложения подошвы тоннеля, а в сложных условия скважины заглубляют на 2 м в пласт устойчивых пород, залегающих ниже тоннеля.

В начальной стадии изысканий для проектирования тоннеля бурят менее 50% скважин. Окончательное положение сооружения, типы конструкции и методы производства работ устанавливают по результатам разведочного бурения, выполненного в полном объеме.

Полученные материалы дают достаточное представление о геологии горного массива и режиме подземных вод, но более полное представление дают исследования, проводимые в выработках, заложенных по оси тоннеля (например, направляющие штольни).

В штольнях измеряют действующее горное давление, определяют механические и упругие характеристики горных пород, приток подземных вод, температуру выработки и уточняют другие необходимые для проектирования и постройки тоннеля данные.

2. Проектирование плана и профиля трассы тоннеля

Железнодорожные, автодорожные и перегонные тоннели метрополитенов в плане располагают, по возможности, на прямых участках. В продольном профиле трассу проектируют с уклонами одного знака или выпуклой к середине тоннеля, сопрягая участки с различными уклонами вертикальными кривыми.

План трассы тоннелей проектируют по нормам открытых участков дороги, за исключением радиусов кривых, величину которых следует принимать по табл. 1.

Таблица 1

Радиусы кривых в тоннелях в плане

Категории железно-дорожной линии	Радиусы в плане, м				Категория авто-дороги	Расчетная скорость, км/ч	Наименьшие радиусы в плане, м
	Рекомендуемые	допускаемые					
		в трудных условиях	в особо трудных условиях при ТЭО	по согласованию с МПС			
Скоростные	4000–3000	2500	1200	800			
Особо грузо-напряженные	4000–2000	1500	1000	600			
I	4000–2500	2000	1000	600	I	150	1000
II	4000–2000	1500	800	400	II	120	600
III	4000–1200	800	600	350	III	100	400
IV	2000–1000	600	350	–	IV	80 и менее	250

Железнодорожные тоннели в продольном профиле при длине менее 400 м, а автодорожные — при длине менее 300 м проектируют с уклоном одного знака (односкатными), при большей длине — односкатными или двускатными с подъемом к середине. Величина продольного уклона не должна выходить за пределы нормируемых минимальных и максимальных значений.

Минимальный уклон в железнодорожных и автодорожных тоннелях составляет 3 ‰.

В качестве максимального в железнодорожных тоннелях принимают смягченный руководящий уклон, ‰,

$$i_{\text{т}} = i_{\text{р}} m, \quad (1)$$

где $i_{\text{р}}$ — руководящий уклон линии или уклон усиленной тяги, ‰; m — коэффициент смягчения уклона, принимаемый равным в курсовом проекте в зависимости от длины тоннеля: 1 — при длине тоннеля не более 300 м; 0,9 — при длине 0,3...1 км; 0,85 — при длине 1...3 км; 0,8...0,75 — при длине более 3 км.

Руководящий уклон смягчают в тоннелях и на подходах к ним со

стороны подъема на протяжении длины приемо-отправочных путей.

В автодорожных туннелях максимальные продольные уклоны не должны превышать 40 %, а в сложных топографических условиях при длине туннеля до 500 м — 60 %.

Оптимальными в районах с суровым климатом считают уклоны 5–6 %. Уменьшение уклонов может приводить к перемерзанию водоотводных устройств в зимнее время, увеличение — к усилению циркуляции холодного воздуха через туннель, что также сопровождается возникновением мерзлотно-наледных явлений.

Смежные элементы продольного профиля туннелей сопрягаются в вертикальной плоскости кривыми, радиус которых принимают в зависимости от категории дороги.

В железнодорожных туннелях радиус вертикальных кривых должен составлять: 20 км — на скоростных линиях, 15 км — на линиях I и II категории, 10 км — на особогрузонапряженных линиях и линиях III категории, 5 км — на линиях IV категории.

В автодорожных туннелях радиусы вертикальных кривых принимают по нормам [3].

Для сопряжения прямых участков в плане применяют кривые радиусом не менее: на главных путях — 600 м, на служебных путях — 150 м и на парковых — 75 м. В трудных условиях при соответствующих обоснованиях может быть допущено уменьшение радиусов кривых: на главных путях — до 300 м, на служебных — до 100 м и на парковых — до 60 м. Под «трудными условиями» следует принимать совокупность причин, при которой применение основных норм проектирования связано со значительным увеличением объема строительно-монтажных работ, с необходимостью коренного переустройства сооружений и устройств, со сносом капитальных сооружений и т.п.

На главных путях кривые в плане радиусом 2000 м и менее сопрягают с прямыми переходными кривыми, длины которых определяют в зависимости от скорости движения поездов. Минимальные значения длин переходных кривых для каждого радиуса принимаются в соответствии с рекомендациями [1,6,13].

3. Поперечное сечение туннелей

Поперечное сечение туннелей при щитовом способе работ имеет, как правило, круговую форму и должно проектироваться для транспортных туннелей в соответствии с габаритами приближения строений [8, 9, 10], а для гидротехнических и коммунальных туннелей — исходя из величины расчетного (рабочего) диаметра для пропуски воды.

Очертания и размеры габаритов приближения строений для прямых участков трассы тоннелей изображены на рис. 1.

Примечания к рисунку 1.

1. Размер со звездочкой следует увеличивать на 30 мм при укладке в путь рельсов типа Р65.

2. Размер в скобках следует принимать в случае укладки в путь рельсов типа Р65.

3. Размер a следует устанавливать в зависимости от конструкции пути в пределах 450 – 550 мм.

4. Уклон i для прямых участков пути следует принимать равным 0,03. Для кривых участков пути величину уклона следует устанавливать в зависимости от возвышения наружного рельса.

5. За ось габарита следует принимать линию, проходящую через середину пути перпендикулярно к плоскости, касательной к головкам рельсов.

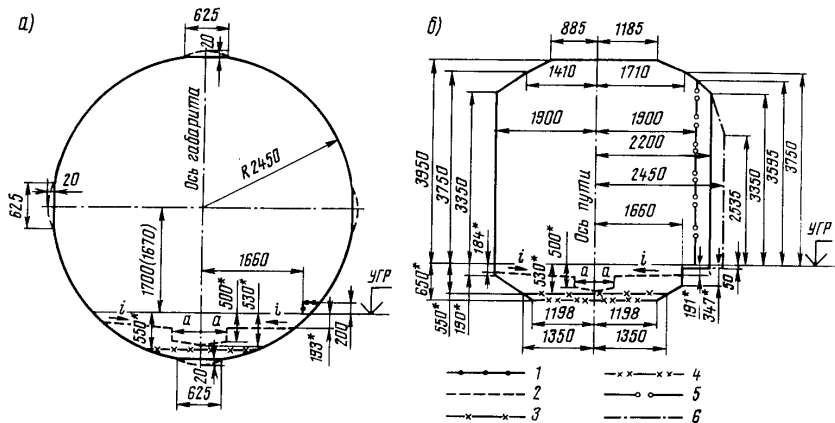


Рис.1. Габариты приближения строений на перегонах:

a – $C_{\text{МК}}$ (для тоннелей кругового очертания); b – $C_{\text{МП}}$ (для тоннелей прямоугольного очертания, сооружений и устройств наземных и надземных участков); 1 – линия приближения дорожки для прохода обслуживающего персонала; 2 – линия приближения водоотводного лотка при укладке верхнего строения пути на бетонном слое; 3 – для габарита $C_{\text{МК}}$ – линия приближения основания пути, для габарита $C_{\text{МП}}$ – линия приближения основания пути на бетонном слое; 4 – линия приближения основанию пути на щебеночном слое; 5 – линия приближения колонн; 6 – линия приближения перил на мостах и эстакадах, а также подпорных стен на открытых наземных участках линий

Нормы увеличения габаритов на кривых в железнодорожных тоннелях приводятся в [11, с. 34–35]. В автодорожных тоннелях на криволинейных участках радиусом 1000 м и менее проезжая часть с внутренней стороны кривой уширяется по нормам [3]. Габариты автодорожных тоннелей на дорогах I категории предусматривают две полосы для движения транспортных средств в одном направлении. Для дорог II, III и IV категорий габариты также двухполосные, но одна полоса предназначена для движения в попутном, а другая во встречном направлении. При разнонаправленном движении нормами [4] предусматривается устройство служебных проходов шириной $\Pi = 750$ мм с каждой стороны тоннеля.

4. Конструирование обделки кругового очертания

4.1. Установление основных параметров обделки

В решение задачи по установлению основных параметров обделки входит:

- выбор конструкции и материала обделки, конструкции продольных стыков и типа связей между элементами;
- определение ширины кольца обделки, количества и расположения элементов в кольце;
- расчет внутреннего радиуса и высоты (толщины) сечения обделки.

Внутренний радиус обделок железнодорожных и автодорожных тоннелей определяется условиями вписывания в окружность габаритов приближения строений с учетом размещения за пределами габарита водоотводных устройств и вентиляционных каналов. Если тоннель располагается в плане частично или полностью на кривой, то на всей его длине внутренний радиус конструкции обделки принимается таким, как для участка на кривой наименьшего радиуса с учетом увеличения габарита.

Внутренний радиус обделки и положение центра окружности относительно уровня головки рельса железнодорожных или верха проезжей части автодорожных тоннелей в курсовом проекте допускается определять графически. Для этого на листе миллиметровки в масштабе 1:20 или 1:25 следует вычертить габарит приближения строений для участка тоннеля с наименьшим радиусом кривой или габарит для прямой, если кривые отсутствуют (рис. 2.).

В самом широком месте габарит делят пополам и через точку деления проводят вертикальную линию — ось тоннеля. По оси тоннеля вниз (рис. 2.1) от линии УГР на величину Δ_1 проводят горизонтальную линию —

поверхность бетонного основания железнодорожного пути. Величина Δ_1 определяется высотой рельса, подкладки, шпалы и слоя щебеночного балласта под шпалой, толщина которого в подрельсовых зонах должна быть не менее 0,35 м [4].

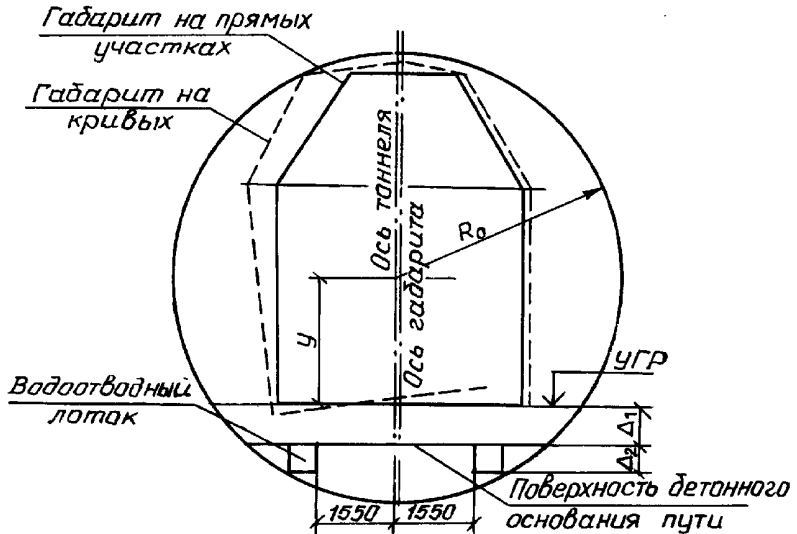


Рис. 2. Определение внутреннего радиуса обделки железнодорожного тоннеля

Далее располагают водоотводные лотки, как показано на рис. 2, где величина Δ_2 зависит от размеров лотков и принятого конструктивного утепления. На оси тоннеля подбором находят центр окружности и ее радиус R_0 так, чтобы окружность касалась верхних угловых точек габарита и нижних угловых точек конструкции лотков. Если окружность проходит через угловые точки только с одной стороны габарита, необходимо сместить ось тоннеля вправо или влево и повторить подбор. Величины R_0 и $у$ определяют по чертежу.

Окончательно внутренний радиус обделки устанавливается с учетом строительного запаса (мм):

$$R_B = R_0 + (50 \dots 100). \quad (2)$$

Высоту сечения обделки h (см) назначают по эмпирическим формулам для сборных железобетонных обделок:

$$h = k \cdot \sqrt[3]{\frac{4R_B^2}{f}}; \quad (3)$$

где k — коэффициент, зависящий от материала обделки (принимать $k = 12$ для классов бетона ниже В30 и $k = 7,5 \dots 10$ для классов В30 и выше); R_B — внутренний радиус обделки, м; f — коэффициент крепости грунта.

Полученную толщину обделки корректируют с учетом размеров типовых конструкций и окончательно устанавливают на основании статического расчета.

Ширина кольца b определяется инженерно-геологическими условиями и диаметром тоннеля. При диаметре до 6 м рекомендуется принимать $b = 1,0$ м; при диаметре 6,0...8,0 м $b = 0,75$ м; при диаметре 8,0 м и более $b = 0,5$ м.

Кольцо обделки состоит из элементов разных типоразмеров: лотковых, замковых, нормальных и смежных. Количество элементов с учетом удобства их изготовления, транспортировки и монтажа обычно принимают в кольцах диаметром до 6 м — 6...10 шт.; от 6 до 8,5 м — 8...12 шт.; от 8,5 до 11 м — 12...18 шт. Масса элементов ограничивается грузоподъемностью укладчиков обделки и не должна превышать 2 т (для лотковых блоков — 4 т).

Разбивку кольца на элементы в обделках без болтовых связей (рис. 2.3, а) начинают с установления длины дуги замкового элемента (по осевой линии). Для клинового замкового элемента можно принимать длину дуги $l_3 = 0,25 \dots 0,40$ м; для вкладышей $l_3 = 0,15 \dots 0,20$ м.

Центральный угол замкового элемента α_3 составляет:

$$\alpha_3 = \frac{l_3}{2R_B + h} \cdot \frac{360^\circ}{\pi} \quad (4)$$

где h — высота сечения обделки, м.

Сборная обделка, как правило, должна иметь лотковый элемент с плоской внутренней поверхностью, исключающей трудоемкие работы по его очистке. Откаточные пути размещаются непосредственно на плоском лотке, в котором должна быть также предусмотрена канавка для отвода воды во время проходки тоннеля.

Ширину лоткового элемента $B_{\text{л}}$ (по хорде) принимают равной 2,2...2,4 м для перегонных тоннелей метрополитена и 2,8...3,2 м для железнодорожных и автодорожных тоннелей, что позволяет применять автомобильный транспорт при проходке тоннеля.

Центральный угол плоского лотка определяют из условия

$$\alpha_n = 2 \arcsin \frac{B_n}{2R_n} \quad (5)$$

Центральный угол остальных элементов уточняют по формуле

$$\alpha_n = \frac{360^\circ - (\alpha_3 + \alpha_n)}{n} \quad (6)$$

где n — количество нормальных и смежных элементов в кольце. В курсовом проекте значения углов допускается определять с точностью до 5° .

В обделках с болтовыми связями, как правило, устраивают перевязку продольных стыков путем смещения элемента на 1–2 болтовых отверстия. Количество элементов в кольце, длина дуги замкового и других элементов, количество отверстий должны быть взаимоувязаны между собой так, чтобы расстояния между всеми отверстиями (по дуге) были одинаковыми (рис. 3, б). С этой целью рекомендуется:

- 1) назначить число элементов и число отверстий в каждом элементе;
- 2) подсчитать общее количество отверстий в кольце и расставить их с одинаковым шагом так, чтобы одно из них оказалось на месте замка;
- 3) расположить продольные стыки посередине между отверстиями, определяя длину элементов по заданному количеству отверстий в каждом из них. При этом продольные стыки между замковым и смежными элементами должны быть отклонены от радиального направления, как показано на рис. 3.

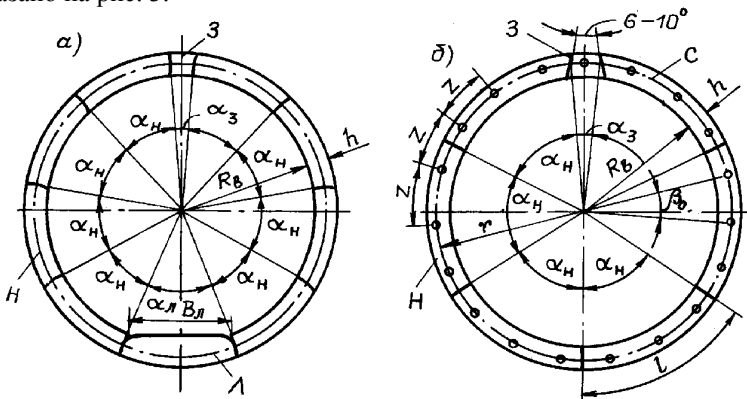


Рис. 3. Схема разбивки кольца на элементы: а-без болтовых связей; б-с болтовыми связями; 3 – замковый (ключевой) элемент; Л – лотковый элемент; С – смежный элемент; Н – нормальный элемент

В конструкции обделки с плоским лотком для перевязки стыков в состав кольца вводят элемент, длина дуги которого составляет треть или

половину длины нормального элемента, и устанавливают его или справа, или слева от лоткового элемента.

Отверстия в кольцевых бортах тубинговых обделок располагают в один ряд по средней линии с одинаковым шагом z . В железобетонных тубингах линия расположения болтовых отверстий может быть смещена ближе к оболочке тубинга.

Количество отверстий назначается из расчета 4...6 болтов на каждый кольцевой борт нормального и смежного тубингов и 1 болт на борт ключевого тубинга. В железобетонных тубингах иногда делают 3 отверстия по кольцевому борту, а ключевой элемент закрепляют на железобетонных вкладышах.

Болтовые отверстия в продольных бортах тубингов (4...6 шт.) располагают в шахматном порядке.

При проходке тоннелей на кривых в плане и профиле применяют специальные “угловые” (клинообразные) кольца обделки, у которых плоскости поперечных бортов, в отличие от обычных колец, не параллельны, а составляют небольшой угол (25...35°). Угловые кольца монтируют попеременно с нормальными; расстояния между ними (м) можно определять по формуле

$$l_y = 0,01R_k - b_{cp} \quad (7)$$

где R_k — радиус кривой, м; b_{cp} — средняя ширина углового кольца, м.

Вместо угловых колец могут применяться металлические прокладки переменной толщины (минимальная толщина 30 мм).

4.2. Конструирование сборных бетонных и железобетонных обделок

Сборные бетонные и железобетонные обделки монтируются из блоков сплошного прямоугольного или ребристого сечения и из железобетонных тубингов [11, с. 180–188; 17, с. 123–141; 18, с. 110–111].

Обделки из блоков сплошного сечения содержат минимальное количество типоразмеров элементов (обычно не более трех: замковый вкладыш, нормальный и лотковый блоки) и различаются между собой, главным образом, видом связей между кольцами и типом продольных стыков. Наибольшее распространение получили обделки из блоков без связей между кольцами с цилиндрическими выпукло-вогнутыми продольными стыками и монтажными шпильками (рис. 4).

Железобетонные тубинговые обделки по конструктивному решению аналогичны чугунным. Кольцо такой обделки содержит 3–4 типоразмера тубингов (ключевой, смежный, нормальный и лотковый), имеющих плоские продольные стыки с болтовыми связями [11, с. 182–184].

Так как борта железобетонных тунбингов имеют недостаточную прочность и трещиностойкость, связи растяжения в такой конструкции рассматривают как временные. После монтажа и нагнетания раствора за обделку болты заменяют стальными шпильками, а болтовые отверстия заполняют гидроизоляционным составом.

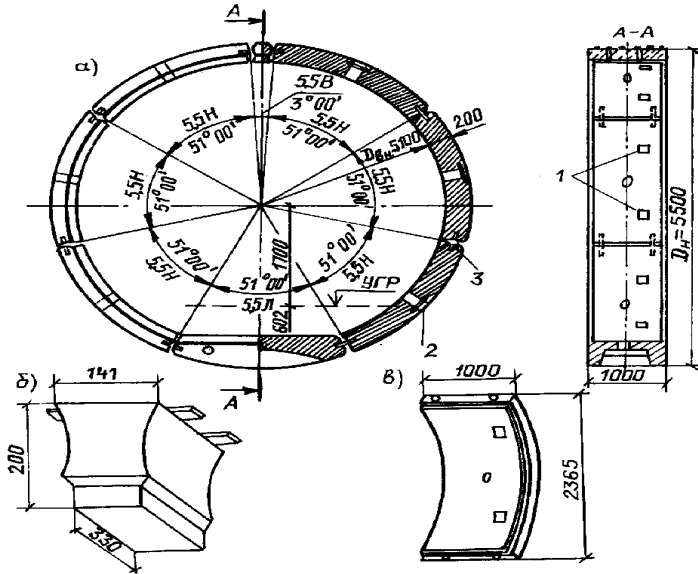


Рис.4. Сборная железобетонная обделка из блоков сплошного сечения:
a — сечение обделки; *б* — общий вид блока 5,5В; *в* — общий вид блока 5,5Н;
 1 — пластины для крепления кабельных кронштейнов; 2 — отверстия для нагнетания; 3 — монтажная шпилька $d = 27$ мм; 1 = 170 мм

Характеристика и спецификация обделки приведена в табл. 2-3.

Таблица 2

Характеристика обделки

Наименование	Ед. изм.	Величина
Внутренний диаметр обделки	мм	5100
Ширина кольца	мм	1000
Толщина блоков	мм	200
Количество типов блоков	шт.	3
Количество блоков в кольце	шт.	10
Объем железобетона на кольцо	м ³	3,45
Масса арматуры на кольцо	кг	227

Характеристика и спецификация обделки приведена в табл.4-5.

Таблица 4

Характеристика обделки

Наименование	Ед. изм.	Величина
Внутренний диаметр обделки	мм	5100
Ширина кольца	мм	1000
Высота борта блоков	мм	300
Толщина оболочки	мм	150
Количество типов блоков	шт.	5
Количество элементов в кольце	шт.	7–8
Объем железобетона на кольцо	м ³	4,14
Масса арматуры на кольцо	кг	249

Таблица 5

Спецификация блоков на одно кольцо

Марка	Кол-во	Объем бетона, м ³		Масса блока, кг
		на 1 блок	на кольцо	
5,7МК	1	0,11	0,11	280
5,7МС	2	0,6	1,2	1500
5,7МН	3	0,64	1,92	1600
5,7МЛ	1	0,88	0,88	2200
Вкладыш	6	0,001	0,006	3

5. Подбор материала тоннельной обделки

Тоннельные обделки кругового очертания сооружают из сборного железобетона, монолитно-прессованного бетона и из чугунных или стальных тубингов. Рекомендации по выбору материала для тоннельных обделок приведены в работах [11, с. 175–190; 13, с. 42–56; 14, с. 40–53; 17, с. 86–95.]

Классы бетона по прочности на сжатие следует принимать не ниже [4]:

B30 — для сборных железобетонных обделок;

B25 — для железобетонных монолитных обделок;

B15 — для бетонных монолитных и набрызгбетонных обделок, порталов и внутренних монолитных железобетонных конструкций.

В случае применения обделок из монолитно-прессованного бетона класс по прочности должен быть не менее B25 [13].

Для бетонного слоя верхнего строения пути в метрополитене класс бетона должен быть не ниже B12, 5, для бетонного основания пути в тоннеле и водоотводных лотков — не ниже B7,5 [13].

Минимальные проектные марки бетона по морозостойкости и водонепроницаемости, а также расчетные характеристики бетонов приведены в табл. 6 и прил. 1.

Таблица 6

Минимальные проектные марки бетона по морозостойкости и водонепроницаемости

Расчетная зимняя температура наружного воздуха	Минимальные проектные марки бетона	
	по морозостойкости	по водонепроницаемости
ниже $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$	F300	W6
$-20\dots-40\text{ }^{\circ}\text{C}$	F200	W4
$-5\dots-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	F150	W2
$0\dots-5\text{ }^{\circ}\text{C}$	F100	не нормируется

Толщина элементов сборных железобетонных обделок должна устанавливаться расчетом, но приниматься не менее 200 мм для блоков сплошного сечения и 100 мм для ребер и оболочек (спинок) железобетонных тубингов или ребристых блоков.

Минимальная толщина защитного слоя бетона до рабочей арматуры должна составлять:

- 20 мм — при толщине элементов конструкции до 300 мм;
- 30 мм — при толщине элементов от 300 до 500 мм;
- 40 мм — при толщине элементов свыше 500 мм.

Железобетонные элементы сборной обделки армируются сварными каркасами. Для рабочих стержней следует применять сталь горячекатаную периодического профиля классов А-II, А-III, А-IV, для остальных стержней — сталь горячекатаную гладкую класса А-I. Расчетные характеристики арматуры [5] приведены в табл. 1.5.

В качестве материала для обделок из чугунных тубингов применяют серые чугуны, обладающие высокой устойчивостью против коррозии. Расчетные характеристики чугунов приведены в Приложении 1 [7].

Приведенные в прил. 1 расчетные характеристики даны при удельном весе (плотности) бетона 24 кН/м^3 ($2,4\text{ т/м}^3$); арматуры и стали $78,5\text{ кН/м}^3$ ($7,8\text{ т/м}^3$); чугуна 72 кН/м^3 ($7,2\text{ т/м}^3$).

Конструкцию тоннельной обделки выбирают исходя из инженерно-геологических условий и размеров поперечного сечения тоннеля.

В слабосвязных, неустойчивых обводненных грунтах, у которых практически отсутствует упругий отпор (пески, супеси), обделка, помимо большой несущей способности и водонепроницаемости, должна обладать

достаточной жесткостью, так как слишком податливый грунт не способен противостоять чрезмерным деформациям обделки.

В этих условиях оправданно применение чугунных тубинговых обделок, несмотря на их высокую стоимость. Общая жесткость обделки обеспечивается жесткостью самих тубингов и объединением их в единую трубчатую конструкцию путем постановки болтовых связей в продольных и поперечных бортах с перевязкой стыков элементов. При этом для тоннелей с наружным диаметром свыше 8,5...9 м применяются усиленные тубинги или чугун повышенной прочности (СЧ30...СЧ50).

В более плотных грунтах следует применять железобетонные обделки.

В слабоустойчивых грунтах при больших диаметрах обделок (железнодорожные и автодорожные тоннели) предпочтение следует отдавать конструкциям из крупных железобетонных блоков сплошного поперечного сечения, обладающих повышенной трещиностойкостью и жесткостью по сравнению с ребристыми блоками. В некоторых случаях продольные стыки блоков омоноличивают для повышения жесткости колец.

В аналогичных геологических условиях при меньших диаметрах тоннеля требования к жесткости конструкции снижаются, что позволяет применять блоки без рабочих связей в продольных стыках.

В устойчивых мягких и в полускальных и трещиноватых скальных грунтах применяют облегченные конструкции обделок из ребристых блоков и железобетонных тубингов.

Важную роль в статической работе обделки играет конструкция продольных стыков. Наиболее просты в изготовлении плоские стыки. Однако вследствие возможных отклонений от проектных размеров и неточностей, допускаемых при монтаже колец, в плоских продольных стыках образуются хаотично расположенные зазоры, раскрытые изнутри или снаружи обделки. Они приводят к внецентренной передаче усилий между блоками, концентрации напряжений у внутренних или наружных кромок стыков, трещинообразованию и местному разрушению блоков.

Указанных недостатков лишена обделка с цилиндрическими выпукловогнутыми продольными стыками, обеспечивающими централизованную передачу усилий между блоками в кольце.

На основе обделки с цилиндрическими стыками появилась конструкция обделки, обжимаемой в грунт. Ее применяют, как правило, при проходке тоннелей в мягких грунтах щитами, не имеющими накладок на наружной поверхности и оставляющими гладкий контур выработки за оболочкой.

Предварительно напрягаемые конструкции повышают трещиностойкость обделок и используются, главным образом, в обделках, восприни-

мающих большое давление напорных вод в гидротехнических и коммунальных тоннелях [19].

Обделки из монолитно-прессованного бетона применяются при сооружении перегонных тоннелей метрополитенов и коммунальных тоннелей в городских районах с плотной застройкой, залегающих в песчаных и глинистых грунтах естественной влажности, с целью уменьшения осадок земной поверхности [16].

Конструкции обделок тоннелей сооружаемых в районах (зонах) сейсмичностью 7 баллов и более, должны удовлетворять требованиям СНиП II-7-81(изд.1995 г.) «Строительство в сейсмически опасных районах».

Чугунные тубинговые обделки обладают достаточной сейсмостойкостью. В железобетонных конструкциях из блоков сплошного сечения, ребристых блоков или железобетонных тубингов необходимо предусматривать специальные устройства для омоноличивания элементов в местах стыковки с соседними блоками либо объединения их при помощи сварных соединений.

Рекомендации по выбору типов обделок в зависимости от инженерно-геологических условий приведены в прил.2.

6. Определение основных размеров тоннелепроходческого комплекса

Основные геометрические размеры щита (рис. 6) определяются в зависимости от диаметра и ширины кольца обделки, инженерно-геологических условий и вида проходческого механизированного оборудования.

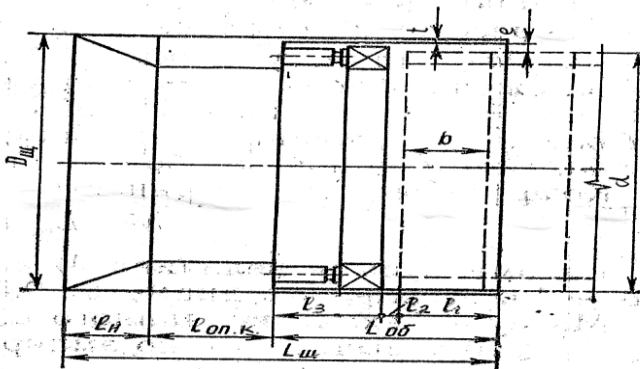


Рис.6. Геометрические параметры щита

Наружный диаметр щита ($D_{щ}$) определяется по следующей формуле:

$$D_{щ} = d + e + 2t, \quad (8)$$

где: d - наружный диаметр тоннельной обделки; e – строительный зазор между обделкой и оболочкой щита, t – толщина хвостовой оболочки щита.

Строительный зазор необходим для удобства сборки обделки и обеспечения возможности поворота щита на криволинейных участках трассы. Обычно величина строительного зазора равна 0,008 d . Полная длина щита состоит из суммарной длины ножевого, опорного колец и хвостовой оболочки.

Ширина ножевого кольца (l_n) зависит от степени устойчивости проходимых щитом грунтов. При проходке в устойчивых грунтах рекомендуется принимать ширину ножевого кольца в пределах 1,0 – 1,2 метра.

В сыпучей среде требуемая ширина ножевого кольца корректируется, в соответствии с дополнительными условиями расположения лобового откоса под углом обрушения в пределах ножевого кольца при незакрепленном забое.

Ширина опорного кольца ($l_{оп.к.}$) определяется длиной цилиндра щитового домкрата без его головной части. Ширина опорного кольца должна быть равна двум размерам рабочего хода штока щитового домкрата, а длина рабочего хода, в свою очередь, равна ширине кольца обделки, т. е.

$$l_{оп.к.} = 2b, \quad (9)$$

где b – ширина кольца обделки.

Длина хвостовой оболочки складывается из трёх составляющих:

$$l_{об} = l_1 + l_2 + l_3, \quad (10)$$

где: l_1 – длина участка обделки, перекрытого хвостовой оболочкой. Как правило, размер этого участка находится в пределах 1,2 – 2,2 ширины кольца обделки. Меньший размер соответствует условиям проходки тоннеля в устойчивых грунтах, больший – в неустойчивых.

Размер l_2 характеризует длину свободного промежутка между опорной частью домкрата и торцом собираемой обделки. Обычно в щитах средних диаметров этот промежуток принимается, равным 15–20 см, то есть $l_2 = (0,15 - 0,20)$ м.

Третья составляющая длины хвостовой оболочки представляет собой длину головной и опорной частей щитового домкрата, выступающих из опорного кольца в пределы хвостовой оболочки. Этот размер обычно равен 60 -70 сантиметров, значит:

$$l_3 = (0,60 - 0,70)$$
м.

Таким образом, полная длина щита будет равна:

$$L_{щ} = l_n + l_{оп.к.} + l_{об}.$$

Возможность щита вписываться в криволинейные участки трассы характеризуется отношением полной длины щита к его диаметру. Этот параметр называется степенью маневренности щита и для немеханизированных щитов средних диаметров должен быть равен примерно 0,75. Следует отметить, что для современных механизированных щитов маневренность обеспечивается за счёт создания щитов с шарнирным корпусом.

7. Обеспечение безопасности при строительстве тоннеля

Сложность технологии при подземных работах обуславливается прежде всего ограниченным контуром выработки, что означает более стесненные условия труда для человека в тоннеле, чем при производстве работ на открытой местности.

При сооружении тоннеля имеется комплекс работ, непосредственно связанных с ручным трудом человека. К ним относятся : присоединение патрубков бетоноводов, прокладка и наращивание коммуникаций, ремонтно-профилактические работы, а так же контроль за технологическими процессами, качеством работ и другие операции.

Совокупность этих факторов, если они не учтены в проекте производства работ и мероприятий по охране труда, может привести к несчастным случаям, а так же простоям и авариям.

Поэтому необходимо учитывать следующие мероприятия по охране труда:

- создание условий безопасного выполнения работ при сооружении тоннелей со сборной высокоточной обделкой;
- создание условий для безопасной эксплуатации машин, механизмов и электрооборудования;
- проведение работ по организации и монтажу эффективной вентиляции для всего тоннеля;
- проведение работ по обеспечению требуемых нормами условий освещенности строительной площадки, рабочих мест в тоннеле, проходов, проездов, а так же аварийного освещения;
- обеспечение строительной площадки и рабочих мест в тоннеле средствами пожаротушения и противопожарными устройствами.

Применяемые технологии в строительстве, а так же используемое оборудование, должны обеспечивать безопасность рабочему персоналу. Поэтому при разработке проекта производства работ, при конструировании оборудования, и при непосредственном выполнении работ, должны учитываться требования нормативных документов, регламентирующих правила безопасности:

СНиП III- 4 - 80 «Техника безопасности в строительстве»;
СНиП 12-03-99 «Безопасность труда в строительстве»;
СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты ;
СНиП 3. 03. 01. – 87 «Несущие и ограждающие конструкции» ;
СНиП 32-04-97 «Тоннели железнодорожные и автодорожные» ;
СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование
воздуха. Нормы проектирования» ;
ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности»
ГОСТ 12.1.004-91 « ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требова-
ния».
ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования
к воздуху рабочей зоны».
ГОСТ 12.1.019-79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и
номенклатура видов защиты».
ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и
определения».
ПБ 10-382-00 « Правила устройства и безопасной эксплуатации грузо-
подъемных кранов» ;
ПОТ РМ-016-2001 РД 153-34.0-03.150-00. Межотраслевые правила по
охране труда (правил безопасности) при эксплуатации электроустановок ;
ППБ 01-03 «Правила пожарной безопасности в Российской Федера-
ции».
ПБ 03-428-02 «Правила безопасности при строительстве подземных
сооружений».
К работе могут допускаться только лица прошедшие обучение, имею-
щие соответствующую квалификацию. Перед началом работ все рабочие
должны быть проинструктированы по технике безопасности с записью в
журнале инструктажа. Инструктаж проводит ИТР, руководящий сменой.
Все рабочие и ИТР могут находиться в зоне работ только в спецодежде и
каске.

Прочностные характеристики бетона

Класс бетона по прочности на сжатие	Расчетные сопротивления для предельных состояний I группы, МПа (кгс/см ²)				Начальные модули упругости бетона $E_b \cdot 10^{-3}$, МПа (кгс/см ²)	
	Сжатие осевое R_b		Растяжение осевое R_{bt}		естественного твердения	Подвергнуто-го тепловой обработке при атмосферном давлении
	при $\gamma_{b2} = 0,9$	при $\gamma_{b2} = 1,0$	при $\gamma_{b2} = 0,9$	при $\gamma_{b2} = 1,0$		
B7,5	4,0(41,5)	4,5 (45,9)	0,43(4,4)	0,48(4,89)	16,0(163)	13,5(138)
B10	5,5(55,0)	6,0(61,2)	0,51(5,23)	0,57(5,81)	18,0(184)	15,5(158)
B12,5	6,8(69,0)	7,5(76,5)	0,59(6,06)	0,66(6,73)	21,0(214)	17,5(178)
B15	7,7(78,5)	8,5(86,7)	0,67(6,83)	0,75(7,65)	23,0(235)	20,5(209)
B20	10,5(107)	11,5(117)	0,80(8,16)	0,90(9,18)	27,0(275)	24,0(245)
B25	13,0(133)	14,5(148)	0,95(9,7)	1,05(10,7)	30,0(306)	27,0(275)
B30	15,5(158)	17,0(173)	1,10(11,2)	1,20(12,2)	32,5(331)	29,0(296)
B35	17,5(178)	19,5(199)	1,15(11,7)	1,30(13,3)	34,5(352)	31,0(316)
B40	20,0(204)	22,0(224)	1,25(12,7)	1,40(14,3)	36,0(367)	32,5(332)
B45	22,5(230)	25,0(255)	1,30(13,3)	1,45(14,8)	37,5(382)	34,0(347)
B50	25,0(255)	27,5(280)	1,40(14,3)	1,55(15,8)	39,0(398)	35,0(357)
B25 монолитно-прессованный	-	13,5(135)	-	2,0(20)	20,4(204)	-

Окончание прил. 1

Класс арматуры	Расчетные сопротивления арматуры для предельных состояний I группы, МПа (кгс/см ²)		Модуль упругости арматуры $E_s \cdot 10^{-3}$, МПа (кгс/см ²)
	растяжению R_s	сжатию R_{sc}	
A-I	225 (2300)	225 (2300)	210 (2100)
A-II	280 (2850)	280 (2850)	210 (2100)
A-III диаметром, мм, 6...8	355 (3600)	355 (3600)	200 (2000)
A-III диаметром, мм, 10...40	365 (3750)	365 (3750)	200 (2000)
A-IV	510 (5200)	400 (4000)	190 (1900)

Марка чугуна	Расчетные сопротивления отливок из серого чугуна, МПа (кгс/см ²)				Модуль упругости чугуна $E_s \cdot 10^{-3}$, МПа (кгс/см ²)
	Растяжение центральное и при изгибе R_t	Сжатие центральное и при изгибе R_0	Сдвиг $R_{сд}$	Смятие торцевой поверхности при наличии пригонки $R_{см}$	
СЧ15	55 (550)	160 (1600)	40 (400)	240 (2400)	83 (850)
СЧ20	65 (650)	200 (2000)	50 (500)	300 (3000)	98 (1000)
СЧ25	85 (850)	230 (2300)	65 (650)	340 (3400)	98 (1000)
СЧ30	100 (1000)	250 (2500)	75 (750)	370 (3700)	98 (1000)
СЧ35	115 (1150)	280 (2800)	—	—	98 (1000)
СЧ50	160 (1600)	300 (3000)	—	—	98 (1000)

Рекомендации по выбору типов обделок

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия	Коэффициент крепости	Тип обделки
Неустойчивые водонасыщенные грунты (пльвуны, лессы, илы, глинистые пески и суглинки); другие водоносные грунты с гидростатическим давлением свыше 0,15 МПа	0,3-0,4	Усиленные чугунные тубинги с болтовыми связями (при $D_n \geq 6,0 м$); нормальные или облегченные чугунные тубинги с болтовыми связями (при $D_n < 6,0 м$)
Слабоустойчивые мало обводненные грунты (пески, супеси, суглинки, мягкие глины)	0,5-1,0	Железобетонные блоки сплошного сечения (при $D_n \geq 8,0 м$); крупные ребристые блоки (при $D_n = 5,5...8,0 м$)
Мягкие устойчивые грунты естественной влажности (плотные супеси и суглинки глины), разрабатываемые рабочими органами механизированных щитов.	0,5-1,5	Железобетонные блоки и тубинги, обжатые в грунт (для любых диаметров обделки) Монолитно-прессованная обделка
Устойчивые связанные и разрушенные полускальные грунты (плотные глины, конгломераты, меловые грунты, гипс, мергель и т.п.) с гидростатическим давлением до 0,15 МПа	1,5...3,0	Железобетонные блоки сплошного и ребристого сечения (для любых диаметров обделки)
Разрушенные полускальные и скальные сильно трещиноватые мало обводненные грунты (глинистые и известняковые сланцы, известняки, песчаники)	3,0-4,0	Железобетонные облегченные блоки ребристого сечения (при $D_n \geq 8,0 м$); железобетонные тубинги (при $D_n = 5,5...8,0 м$)

Библиографический список

1. СНиП 32-08-2004. Метрополитены.
2. СНиП 32-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм.
3. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги.
4. СНиП 32-04-97. Тоннели железнодорожные и автодорожные.
5. СНиП 2.03.01-84* (изд. 1989 г.). Бетонные и железобетонные конструкции.
6. Пособие по проектированию метрополитенов. М., 1992. 145 с.
7. СНиП 11-23-81. Стальные конструкции.
8. ГОСТ 9238—83. Габариты приближения строений и подвижного состава железных дорог колеи 1520 (1524) мм.
9. ГОСТ 24451—80. Тоннели автодорожные. Габариты приближения строений и оборудования.
10. ГОСТ 23961—80. Метрополитены. Габариты приближения строений, оборудования и подвижного состава.
11. Тоннели и метрополитены / Под ред. В.Г. Храпова. М.: Транспорт, 1989. 383 с.
12. Компаниец С.А., Поправко А.К., Богородецкий А.А. Проектирование тоннелей. М.: Транспорт, 1973. 320 с.
13. Справочник инженера-тоннельщика / Под ред. В.Е. Меркина, С.Н. Власова, О.Н. Макарова. М.: Транспорт, 1993. 389 с.
14. Лиманов Ю.А. Метрополитены. М.: Транспорт, 1971. 288 с.
15. Маковский Л.В. Городские подземные транспортные сооружения. М.: Стройиздат, 1985. 439 с.
16. Маренный Я. И. Тоннели с обделкой из монолитно-прессованного бетона. М.: Транспорт, 1985. 271 с.
17. Фролов Ю.С., Голицынский Д.М., Ледаев А.П. Метрополитены. Учебник для вузов / Под ред. Ю.С. Фролова. – М.: «Желдориздат», 2001. – 528 с.
18. Сборный железобетон в подземном строительстве / В.И. Безпальный, И.Я. Бялер, Н.Г. Карсницкий и др. Киев: Госстройиздат, 1961. 248 с.
19. Зурабов Г.Г., Бугаева О.Е. Гидротехнические тоннели гидроэлектрических станций. М.;Л.: Госэнергоиздат, 1962. 719 с.
20. Орлов С.А. Методы статического расчета сборных железобетонных обделок тоннелей. М.: Госстройиздат, 1961. 136 с.
21. Бугаева О.Е. Проектирование обделок транспортных тоннелей.

Л., 1966. 75 с.

22. Архангельский М.М., Джинчарадзе Д.И., Курисько А.С. Расчет тоннельных обделок. М.: Трансжелдориздат, 1960. 344 с.

23. Айвазов Ю.Н. Ускоренные методы расчета тоннельных обделок. Киев: КАДИ, 1986. 125 с.

24. Молчанов В.С., Савельев Ю.Н., Полянкин Г.Н. Методические указания по оформлению курсовых и дипломных проектов по тоннелям и метрополитенам / Сост. В.С. Молчанов, Ю.Н. Савельев, Г.Н. Полянкин,. Новосибирск, 2002. 47 с.

Содержание

Цели и задачи курсовой работы.....	3
Содержание курсовой работы.....	3
Требования к оформлению работы.....	4
Исходные данные к курсовой работе.....	4
Структура пояснительной записки.....	4
1. Оценка инженерно-геологических и гидрологических условий	4
2. Проектирование плана и профиля трассы тоннеля	5
3. Поперечное сечение тоннелей	7
4. Конструирование обделки кругового очертания	9
5. Подбор материала тоннельной обделки	16
6. Определение основных размеров тоннелепроходческого комплекса.....	19
7. Обеспечение безопасности при строительстве тоннеля	21
Приложения.....	23
Приложение 1.....	23
Приложение 2.....	25
Библиографический список.....	26

Учебное издание

**Проектирование тоннеля, сооружаемого методом
щитовой проходки**

Методические указания к выполнению курсовой работы
и практических заданий по дисциплине
«Тоннельные пересечения на транспортных магистралях»
для студентов специальности
271501 – Строительство железных дорог, мостов
и транспортных тоннелей

Составители: **Селицкая** Наталья Владимировна
Сачкова Алиса Вадимовна

Подписано в печать 05.09.13 Формат 60x84/16. Усл.печ.л.1,6. Уч-изд.л. 1,8.
Тираж 65 экз. Заказ Цена
Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете
им. В.Г. Шухова
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46