

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов

институт

Шахтное и подземное строительство

кафедра

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

Конструирование тоннельных обделок сводчатого очертания

тема

Преподаватель

подпись, дата

Г. С. Курчин
инициалы, фамилия

Студент

ГГ21-10
номер группы, зачетной книжки



подпись, дата

А.С. Ткаченко
инициалы, фамилия

Красноярск 2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Теоретические сведения	2
1.1	Общие положения	2
1.2	Анкерная крепь	3
1.3	Крепь из набрызг-бетона	4
2	Ход работы	7
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	9

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Общие положения

Временная крепь должна обеспечивать устойчивость выработки до возведения постоянной обделки. В современной практике тоннелестроения наибольшее распространение получили крепи из анкеров, набрызг-бетона и металлических арок, а также комбинированные конструкции, в которые входят элементы крепи различных типов.

Конструкции и технологию устройства крепи выбирают с соблюдением требований действующих норм проектирования и строительства тоннелей исходя из степени устойчивости породного массива, в котором закладывается тоннель. По степени устойчивости горных пород в практике тоннелестроения выбирают конкретный тип временной крепи, наиболее целесообразный для данных условий. Категории пород по степени устойчивости приведены в Таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Категории пород по степени устойчивости

Категория пород	Коэффициент крепости f	Степень устойчивости	Допустимые сроки обнажения выработки (до установки временной крепи)	Удельный вес, т/м ³
I	> 10	Вполне устойчивые	Неограниченно	$> 2,9$
II	8...10	Устойчивые	До 6 месяцев	2,6–2,9
III	5...8	Средней устойчивости	10...15 суток	1,9–2,5
IV	3...5	Неустойчивые	Менее 1 суток	1,3–1,8
V	< 3	Весьма неустойчивые	Обнажение не допускается	$< 1,3$

Большое значение для устойчивости выработки имеет состояние трещиноватости скальных пород. По степени трещиноватости породы разделяют на пять категорий, которые оцениваются по коэффициенту трещиноватости массива (Таблице 1.2).

Таблица 1.2 – Категории пород по степени трещиноватости

Степень трещиноватости пород	Количество трещин на 1 м ² забоя	Ориентировочное расстояние между трещинами, м	Коэффициент трещиноватости k_t
Нетрещиноватые	До 1	–	1
Слаботрещиноватые	1...2	1...2	1,5
Трещиноватые	2...4	0,5...1	2
Сильнотрещиноватые	4...10	0,2...0,5	2,5
Раздробленные	Больше 10	Меньше 0,2	–

Удовлетворительную устойчивость выработки могут обеспечить различные типы и сочетания элементов крепи. Поэтому предпочтение следует отдавать тем, которые требуют наименьших трудозатрат или стоимости.

Тип временной крепи для конкретных условий, исходя из степени устойчивости горных пород, их трещиноватости, выветриваемости и обводненности, ориентировочно выбирают на основе опыта строительства подземных сооружений.

Расчет конструктивных параметров временной крепи выполняется для различных типов крепи следующим образом.

1.2 Анкерная крепь

Длина рабочей части анкера (Рисунка 1.1), м:

$$l_p = \frac{0,75 \cdot B \cdot k_T}{f} \quad (1.1)$$

где B — ширина выработки, м;

f — коэффициент крепости породы;

k_T — коэффициент трещиноватости массива (Таблице 1.2).

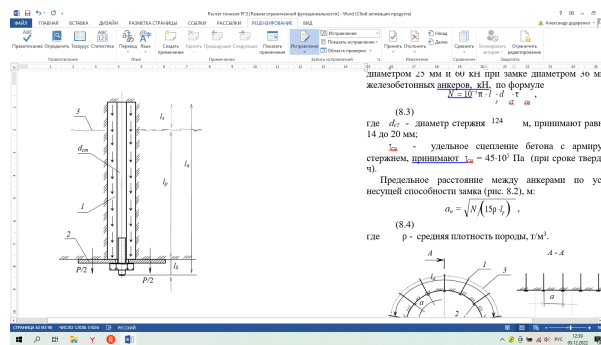


Рисунок 1.1 – Расчетная схема анкера: 1 — анкер; 2 — шайба; 3 — граница зоны возможного обрушения

Длина замковой части l_z принимается: для клиновых анкеров — не менее 20 см, для железобетонных — в пределах 30...60 см.

Общая длина анкера (с учетом выступающей из породы части анкера длиной $l_k = 10$ см), м:

$$l_a = l_p + l_z + l_k \quad (1.2)$$

Прочность закрепления замка анкера в породе N принимают: для клинощелевых анкеров — 90 кН при замке диаметром 25 мм и 60 кН при замке диаметром 36 мм; для железобетонных анкеров, кН, — по формуле

$$N = 10^{-3} \cdot \pi \cdot l_z \cdot d_{ст} \cdot \tau_{сц} \quad (1.3)$$

где $d_{ст}$ — диаметр стержня анкера, м, принимаемый равным от 14 до 20 мм;

$\tau_{сц}$ — удельное сцепление бетона с армирующим стержнем, принимаемое равным $45 \cdot 10^5$ Па (при сроке твердения 6 ч).

Предельное расстояние между анкерами по условию несущей способности замка (Рисунка 1.2), м:

$$a_n = \sqrt{\frac{N}{15 \cdot \rho \cdot l_p}} \quad (1.4)$$

где ρ — средняя плотность породы, т/м³.

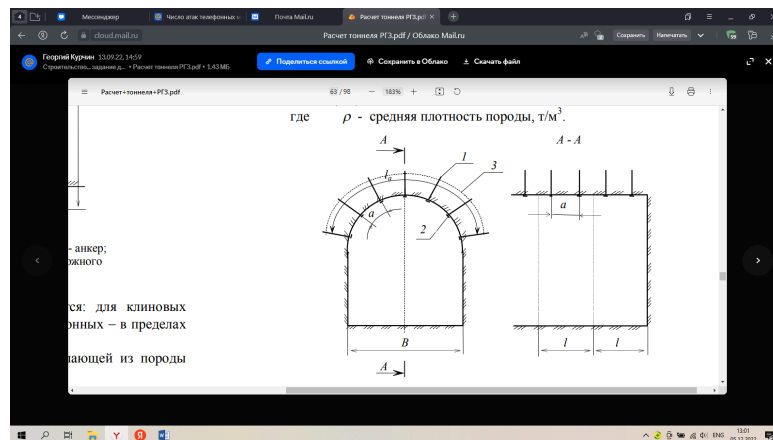


Рисунок 1.2 – Схема к расчету анкеров на заходку

Чтобы исключить возможность образования вывалов между анкерами, должно быть выполнено условие $a_n \leq l_p$.

При этом длина анкера не может быть менее 1 м. В сильнотрещиноватых породах расстояние между анкерами следует уменьшить до $0,5l_p$.

Расчетная нагрузка на анкер, кН:

$$P = 15 \cdot \rho \cdot a^2 \cdot l_p \quad (1.5)$$

где a — принятое (откорректированное) расстояние между анкерами, м.

Расстояние a корректируют с учетом того, чтобы оно было кратным длине заходки $l_{\text{зах}}$.

Диаметр стержня анкера, см, корректируют по формуле

$$d = 2 \sqrt{\frac{10 \cdot P}{\pi \cdot R_a}} \quad (1.6)$$

где R_a — расчетное сопротивление материала стержня анкера на растяжение; для стали $R_a = 225$ МПа.

Количество анкеров на заходку:

$$n_a = \frac{L_a \cdot l_{\text{зах}}}{a^2} \quad (1.7)$$

где L_a — периметр свода выработки, закрепленного анкерами, м.

Параметры выработки принимаются в соответствии с расчетами в предыдущих работах.

1.3 Крепь из набрызг-бетона

Набрызг-бетонная крепь применяется как в виде самостоятельной конструкции, так и в комбинированных конструкциях, т. е. при сочетании с анкерами или металлическими арками. При расчете определяют толщину покрытия и объем набрызг-бетона на цикл.

Толщина покрытия из набрызг-бетона, применяющегося в качестве самостоятельной конструкции (Рисунка 1.3, а), см:

$$h = 3,46 \sqrt{\frac{q_p}{m \cdot k_1 \cdot R_{bt}}} \quad (1.8)$$

где q_p — расчетное давление, кН/м² (принимается в соответствии с расчетом в лабораторной работе №7);

m — коэффициент условий работы набрызг-бетона, определяемый по формуле

$$m = m_1 + m_2 \quad (1.9)$$

$m_1 = 0,7$ — для глиноземистого цемента, $1,0$ — для других видов цемента;

$m_2 = 0,7$ — для слаботрещинчатых пород, $0,5$ — для трещинчатых пород;

k_1 — коэффициент влияния ширины выработки и крепости породы, определяемый по Таблице 1.3

R_{bt} — расчетное сопротивление набрызг-бетона при осевом растяжении, кПа, определяемое по Таблице 1.4.

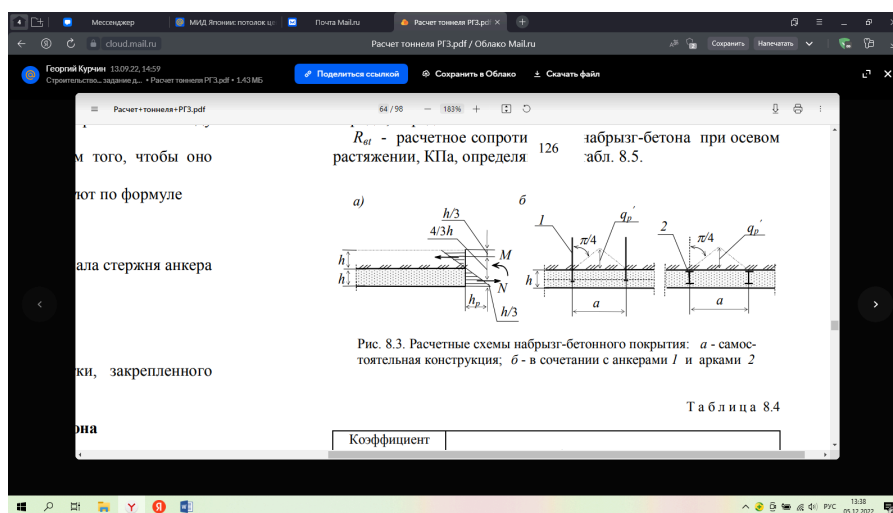


Рисунок 1.3 – Расчетные схемы набрызг-бетонного покрытия: а — самостоятельная конструкция; б — в сочетании с анкерами 1 и арками 2

Таблица 1.3 – Коэффициент влияния ширины выработки и крепости породы

Коэффициент крепости породы f	Значение k_1 при ширине выработки, м			
	4	6	8	≥ 10
3	0,2	0,1	—	—
4	0,4	0,3	0,2	—
6	0,9	0,8	0,7	0,6
≥ 8	1,0	0,9	0,8	0,7

Таблица 1.4 – Расчетное сопротивление набрызг-бетона при осевом растяжении

Набрызг-бетон	Расчетное сопротивление R_{bt} , кПа, при классе набрызг-бетона		
	B25	B30	B40
Армированный	1,2	1,4	1,6
Неармированный	1,0	1,2	1,4

При армированном набрызг-бетоне покрытие выполняют по металлической сетке с ячейками 100×100 или 150×150 мм из проволоки диаметром 6...8 мм. Следует учитывать при этом, что армированным может быть покрытие толщиной не менее 6 см.

Толщина покрытия из набрызг-бетона в сочетании с анкерами или арками (Рисунок 1.3, б), см:

$$h = 10 \cdot n_1 \cdot a \sqrt{\frac{q'_p}{m \cdot k_2 \cdot R_{bt}}} \quad (1.10)$$

где при гарантированном расчетном сцеплении покрытия с породой коэффициент, зависящий от комбинации видов крепи: $n_1 = 0,6$ — при сочетании с анкерами, $0,7$ — при сочетании с арками;

a — расстояние между анкерами (арками), м, принимаемое самостоятельно в диапазоне 0,5–2,0 м;

q'_p — нагрузка от возможного вывала породы между анкерами (арками), кН/м², определяемая по формуле

$$q'_p = n_2 \cdot \gamma \cdot a \quad (1.11)$$

$n_2 = 0,37$ — при сочетании с анкерами, $0,25$ — при сочетании с арками;

γ — удельный вес породы, кН/м³;

k_2 — коэффициент влияния расстояния между анкерами (арками) и крепости породы, определяемый по Таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Коэффициент влияния расстояния между анкерами и крепости породы

Коэффициент крепости породы f	Значение k_2 при расстоянии между анкерами (арками), м			
	0,5	1,0	1,5	2,0
≤ 2	0,3	0,2	0,2	0,1
3	0,5	0,4	0,3	0,2
4	1,0	0,9	0,8	0,6
6	1,0	1,0	0,9	0,8

Объем набрызг-бетона на цикл, м³:

$$V_{нб} = l_{св} \cdot l_{зах} \cdot h \quad (1.12)$$

где $l_{св}$ — периметр свода и стен выработки, по которому наносится набрызг-бетон, м.

Параметры выработки принимаются в соответствии с расчетами в предыдущих работах.

2 ХОД РАБОТЫ

Исходные данные приняты по варианту 6 и приведены в Таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные (вариант 6)

Величина	Значение
Коэффициент крепости породы f	6
Степень трещиноватости пород	трещиноватые
Выветриваемость пород	склонные к выветриванию
Обводненность	капез и течи
Тип временной крепи	анкерная

По Таблице 1.1 породы с $f = 6$ относятся к III категории (средней устойчивости, допустимый срок обнажения 10...15 суток); по Таблице 1.2 трещиноватым породам соответствует коэффициент трещиноватости $k_t = 2$. Параметры поперечного сечения выработки приняты по результатам лабораторной работы №6 (вариант 6): ширина выработки по подошве $B = 4,53$ м; глубина заходки $l_{\text{зах}} = 3,0$ м; плотность породы $\rho = 2,1$ т/м³. Приняты железобетонные анкеры с диаметром стержня $d_{\text{ст}} = 18$ мм.

1. Длина рабочей части анкера по формуле (1.1):

$$l_p = \frac{0,75 \cdot 4,53 \cdot 2,0}{6} = 1,13 \text{ м} \quad (2.1)$$

2. Длина замковой части железобетонного анкера принята $l_3 = 0,30$ м (из диапазона 30...60 см), длина выступающей части $l_k = 0,10$ м. Общая длина анкера по формуле (1.2):

$$l_a = 1,13 + 0,30 + 0,10 = 1,53 \text{ м} \quad (2.2)$$

3. Прочность закрепления замка анкера в породе по формуле (1.3) при $\tau_{\text{сц}} = 45 \cdot 10^5$ Па:

$$N = 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 0,30 \cdot 0,018 \cdot 45 \cdot 10^5 = 76,3 \text{ кН} \quad (2.3)$$

4. Предельное расстояние между анкерами по условию несущей способности замка по формуле (1.4):

$$a_n = \sqrt{\frac{76,3}{15 \cdot 2,1 \cdot 1,13}} = \sqrt{2,14} = 1,46 \text{ м} \quad (2.4)$$

Полученное значение $a_n = 1,46$ м превышает длину рабочей части анкера $l_p = 1,13$ м, т. е. условие $a_n \leq l_p$ не выполняется, и расстояние между анкерами уменьшено до $a = 1,1$ м.

5. Расчетная нагрузка на анкер по формуле (1.5) при принятом расстоянии $a = 1,1$ м:

$$P = 15 \cdot 2,1 \cdot (1,1)^2 \cdot 1,13 = 43,1 \text{ кН} \quad (2.5)$$

Несущая способность замка достаточна: $P = 43,1 \text{ кН} < N = 76,3 \text{ кН}$.

6. Диаметр стержня анкера по формуле (1.6) при $R_a = 225$ МПа:

$$d = 2 \sqrt{\frac{10 \cdot 43,1}{3,14 \cdot 225}} = 2 \sqrt{0,61} = 1,56 \text{ см} \quad (2.6)$$

Принят стандартный стержень диаметром $d_{\text{ст}} = 18 \text{ мм} > 15,6 \text{ мм}$, что удовлетворяет условию прочности.

7. Количество анкеров на заходку по формуле (1.7). Периметр свода выработки, закрепляемого анкерами (при полуциркульном очертании свода):

$$L_a = \frac{3,14 \cdot 4,53}{2} = 7,1 \text{ м} \quad (2.7)$$

$$n_a = \frac{7,1 \cdot 3,0}{(1,1)^2} = 17,6 \approx 18 \text{ анкеров} \quad (2.8)$$

Основные параметры запроектированной анкерной крепи сведены в Таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры анкерной крепи (вариант б)

Параметр	Обозначение	Значение
Тип анкеров	—	железобетонные
Диаметр стержня	$d_{ст}$	18 мм
Длина рабочей части анкера	l_p	1,13 м
Длина замковой части	l_3	0,30 м
Общая длина анкера	l_a	1,53 м
Прочность закрепления замка	N	76,3 кН
Предельное расстояние между анкерами	a_n	1,46 м
Принятое расстояние между анкерами	a	1,1 м
Расчетная нагрузка на анкер	P	43,1 кН
Требуемый диаметр стержня	d	1,56 см
Периметр свода	L_a	7,1 м
Количество анкеров на заходку	n_a	18

Вывод: для тоннеля в трещиноватых породах с коэффициентом крепости $f = 6$ (III категория устойчивости), склонных к выветриванию при капее и течах, запроектирована временная крепь из железобетонных анкеров: длина анкера 1,53 м при рабочей части 1,13 м, расстояние между анкерами 1,1 м, расчетная нагрузка на анкер 43,1 кН при несущей способности замка 76,3 кН; на заходку длиной 3,0 м необходимо 18 анкеров по периметру свода 7,1 м.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 2.301-68 (СТ СЭВ 1181-78) и др. ЕСКД. Общие правила выполнения чертежей : сборник. — Введ. 01.01.82. — Содерж.: ГОСТ 2.301-68 (СТ СЭВ 1181-78) – ГОСТ 2.317-69 (СТ СЭВ 1979-79).
2. ГОСТ Р 21.1001-2009. Система проектной документации для строительства. Общие положения. Москва, 2009.
3. ГОСТ Р 21.1101-2009. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации. Москва, 2009.
4. ГОСТ 24451-80. Тоннели автодорожные. Габариты приближения строений и оборудования. — Введ. 01.01.82.
5. ГОСТ 9238-2013. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений. — Принят 14.11.13.
6. СП 122.13330.2012. Тоннели железнодорожные и автодорожные. Нормы проектирования. Москва, 2013.
7. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Москва, 2012.
8. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Москва, 2012.
9. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Нормы проектирования. Москва, 2011.
10. Айвазов Ю. Н. Расчет обделок, обжатых в породе. Киев: КАДИ, 1978. 108 с.
11. Айвазов Ю. Н. Ускоренные методы расчета тоннельных обделок. Киев: КАДИ, 1986.
12. Архангельский М. М., Джинчарадзе Д. И., Курисько А. С. Расчет тоннельных обделок. Москва: Трансжелдориздат, 1960. 344 с.
13. Бабков В. Ф., Андреев О. В. Проектирование автомобильных дорог : в 2-х т. Т. 1 — 367 с. ; Т. 2 — 407 с. Москва: Транспорт, 1979.
14. Волков В. П. Тоннели. Москва: Транспорт, 1970. 408 с.
15. Волков В. П. и др. Тоннели и метрополитены. Москва: Транспорт, 1975. 552 с.
16. Зурабов Г. Г., Бугаева О. Е. Гидротехнические тоннели ГЭС. Москва: Госэнергоиздат, 1962. 720 с.
17. Компаниец С. А., Поправко А. К., Богородецкий А. А. Проектирование тоннелей. Москва: Транспорт, 1973. 320 с.
18. Маковский Л. В. Городские подземные транспортные сооружения. Москва: Стройиздат, 1985. 439 с.
19. Маковский Л. В. Методические указания по проектированию и расчету вентиляции автодорожных тоннелей. Москва: МАДИ, 1981. 40 с.
20. Пастушков Г. П. и др. Проектирование тоннелей, сооружаемых горным способом. Минск: БНТУ, 2005. 96 с.
21. Справочник строителя транспортных тоннелей / под ред. Часовитин П. А. Москва: Транспорт, 1965. 768 с.