

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 №2**

Проектирование трассы

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 Внутреннее очертание обделок и габариты ..... | 2  |
| 1.2 Материал тоннельных обделок .....             | 5  |
| 1.3 Конструирование тоннельных обделок .....      | 7  |
| 2 Ход работы .....                                | 11 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....            | 14 |



Таблица 1.1 – Расстояние  $L$  между боковыми ограждающими устройствами в тоннелях

| Длина тоннеля, м | Расстояние $L$ , м, для дорог категорий |     |     |
|------------------|-----------------------------------------|-----|-----|
|                  | I и II                                  | III | IV  |
| До 300           | 9,0                                     | 8,5 | 8,0 |
| Более 300        | 8,5                                     | 8,0 | 7,0 |

При расположении автодорожных тоннелей на кривых радиусом 1000 м и менее производят уширение проезжей части с внутренней стороны кривой. Величины уширений для двухполосных тоннелей зависят от радиуса кривой и длины автотранспорта; они приведены в Таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Уширение проезжей части на кривых в плане

| Радиусы кривых в плане, м | Уширение, м, при расстоянии от переднего бампера до задней оси автомобиля или автопоезда, м |     |     |     |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
|                           | 7...11                                                                                      | 13  | 15  | 18  |
| 1000                      | —                                                                                           | —   | —   | 0,4 |
| 850                       | —                                                                                           | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| 650                       | 0,4                                                                                         | 0,5 | 0,5 | 0,7 |
| 575                       | 0,5                                                                                         | 0,6 | 0,6 | 0,8 |
| 425                       | 0,5                                                                                         | 0,7 | 0,7 | 0,9 |
| 350                       | 0,6                                                                                         | 0,8 | 0,9 | 1,1 |
| 250                       | 0,8                                                                                         | 1,0 | 1,1 | 1,5 |

Для дорог I и II категории с обеих сторон проезжей части располагаются служебные проходы шириной 750 мм. Ось тоннеля совпадает с осью габарита. Для дорог III и IV категорий служебный проход шириной 750 мм устраивается с одной стороны проезжей части, а с другой — защитная полоса шириной 500 мм. В этом случае ось тоннеля смещена от оси проезжей части в сторону служебного прохода на 125 мм.

При строительстве новых тоннелей нормами (СНиП 32-04-97), введенными с 1.01.98 г., предписывается:

1. в автодорожных тоннелях длиной более 1000 м предусматривать остановочные полосы шириной не менее 2,5 м, а при отсутствии остановочных полос — местные уширения через каждые 750 м с площадками для аварийной остановки транспорта; длина площадок — не менее 50 м, а ширина — не менее 2,75 м; при двустороннем движении площадки располагают с каждой стороны тоннеля; размер  $L$  габарита в пределах полос площадок увеличивают соответственно на 2,5 или 2,75 м;
2. в тоннелях при разнонаправленном движении устраивать служебные проходы с каждой стороны тоннеля независимо от категории автодороги.

Для автодорожных тоннелей весьма большое значение имеет вентиляция, и поэтому в тоннелях длиной свыше 1 км в подсводной части обычно располагаются вентиляционные каналы. При построении внутреннего контура автодорожного тоннеля следует предварительно

установить систему вентиляции, рассчитать объем воздуха, потребного для проветривания тоннеля, и определить необходимую площадь сечения вентиляционных каналов.

Для автодорожных тоннелей системы вентиляции обычно устанавливают в зависимости от длины тоннеля и интенсивности движения (Таблице 1.3 и Рисунке 1.3).

Таблица 1.3 – Системы вентиляции автодорожных тоннелей

| Система вентиляции | Вид проветривания                                    | Длина тоннеля, м | Категория дороги |
|--------------------|------------------------------------------------------|------------------|------------------|
| Естественная       | естественное проветривание                           | До 150           | Все              |
|                    | естественное проветривание при обосновании расчетами | 150...400        | III, IV          |
| Искусственная      | продольная                                           | До 1000...1500   | II, III, IV      |
|                    | продольно-струйная                                   | До 1000...2000   | II, III, IV      |
|                    | комбинированная                                      | До 1000...1500   | II, III, IV      |
|                    | поперечная                                           | Свыше 1500       | I, II, III       |

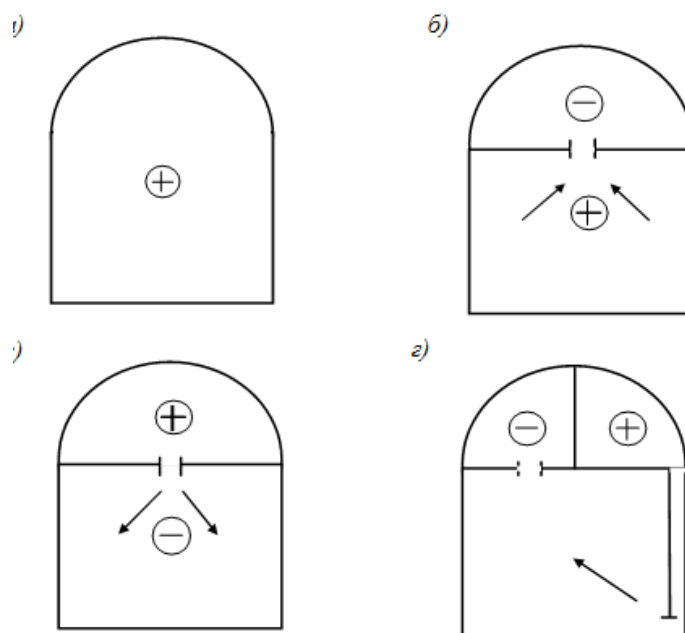


Рисунок 1.3 – Системы искусственной вентиляции в тоннелях: а — продольная; б — полупродольная; в — полупоперечная; г — поперечная; + — движение свежего воздуха; – — движение отработанного воздуха

Предельно допустимая концентрация окиси углерода в воздухе тоннеля не должна превышать следующих значений: при нахождении автомобиля в тоннеле до 5 мин — 60 мг/м<sup>3</sup>; до 10 мин — 35 мг/м<sup>3</sup>; до 15 мин — 26 мг/м<sup>3</sup>; до 20 мин — 21 мг/м<sup>3</sup>.

Время нахождения автомобилей в тоннеле определяют в зависимости от расчетной скорости их движения по тоннелю, которая не должна превышать: для дорог I и II класса — 60 км/ч; для дорог III класса — 50 км/ч; для дорог IV класса — 40 км/ч.

Внутреннее очертание обделки зависит также от геологических условий.

Практика проектирования определила ориентировочные границы геологических условий, в которых могут быть применены обделки того или иного очертания, и выработала

некоторые правила построения этих контуров. Основными правилами являются требования плавного изменения оси обделки и ее подъемистой сводчатой формы при преобладании вертикальных нагрузок. При отсутствии бокового горного давления стены обделки сводчатой формы проектируют вертикальными, а свод очерчивают по круговой или трехцентральной кривой.

Следует заметить, что, несмотря на очевидные с точки зрения объемов и производительности работ достоинства прямых вертикальных стен, предпочтительнее криволинейное внутреннее очертание их в связи с образованием во многих случаях продольных трещин в местах сопряжения свода с прямыми стенами.

При воздействии вертикального и незначительного бокового горного давления применяется подъемистый свод, контур которого очерчивается по трехцентральной коробовой кривой. В породах, оказывающих на обделку значительное боковое давление, а также склонных к пучению, необходима обделка замкнутого очертания с обратным сводом или усиленным плоским лотком.

Между внутренним контуром обделки и угловыми точками габарита должен быть обеспечен некоторый зазор, гарантирующий от появления негабаритности из-за возможной неточности размеров при сооружении обделки и деформаций конструкций. Для скальных пород этот зазор принимают равным 5...10 см, для слабых — 15 см.

По внутреннему очертанию обделка должна быть однотипной по всей длине тоннеля, что способствует стандартизации механизмов, оборудования и опалубки.

## **1.2 Материал тоннельных обделок**

Материалы тоннельных конструкций должны отвечать требованиям прочности, долговечности, огнестойкости, устойчивости химической агрессивности подземных вод, не выделять токсичных соединений в условиях строительства и эксплуатации тоннеля при нормальных и аварийных температурных режимах.

Выбор материалов обделок производится с учетом возможности использования местных строительных материалов и максимальной механизации процесса сооружения обделок.

Основными материалами для сооружения обделок горных тоннелей являются монолитный бетон, железобетон и набрызг-бетон. Выбор материала зависит от геолого-гидрогеологических, сейсмических и других условий, характеризующих особенности расположения тоннеля, с учетом способов производства тоннельных работ.

Порталы проектируют из монолитного бетона и железобетона. Монолитный железобетон для обделки и порталов допускается применять при экономических и статических обоснованиях, а также при строительстве тоннелей в районах с сейсмичностью 7–9 баллов и при пересечении зон тектонических нарушений массива. Минимальную толщину защитного слоя бетона для рабочей арматуры монолитной железобетонной и набрызг-бетонной обделки следует принимать по Таблице 1.4.

Класс бетона по прочности на сжатие следует принимать не ниже:

- для монолитных бетонных обделок, порталов, оголовков — В15;

- для сборных железобетонных обделок — В30;
- для монолитных железобетонных обделок — В25;
- для набрызг-бетонных обделок — В15.

Таблица 1.4 – Толщина защитного слоя бетона для рабочей арматуры

| Вид бетона    | Толщина обделки, мм | Толщина защитного слоя, мм |
|---------------|---------------------|----------------------------|
| Железобетон   | 300...500           | 30                         |
|               | Свыше 500           | 40                         |
| Набрызг-бетон | Любая               | 20                         |

Проектные марки бетона по морозостойкости и водонепроницаемости назначаются с учетом принятой системы гидроизоляции и климатических условий, в которых сооружается тоннель (Таблице 1.5).

Таблица 1.5 – Минимальные проектные марки бетона

| Расчетная зимняя температура воздуха, °С | Морозостойкость | Водонепроницаемость |
|------------------------------------------|-----------------|---------------------|
| –(5...20)                                | <i>F</i> 150    | <i>W</i> 2          |
| –(20...40)                               | <i>F</i> 200    | <i>W</i> 4          |
| –40 и ниже                               | <i>F</i> 300    | <i>W</i> 6          |

Расчетные характеристики монолитного бетона приведены в Таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Расчетные характеристики монолитного бетона

| Напряженное состояние                            | В15  | В20  | В25  | В30  |
|--------------------------------------------------|------|------|------|------|
| Сжатие осевое (призменная прочность) $R_b$ , МПа | 8,5  | 11,5 | 14,5 | 17   |
| Растяжение осевое $R_{bt}$ , МПа                 | 0,75 | 0,9  | 1,05 | 1,2  |
| Модуль упругости $E$ , МПа×10 <sup>3</sup>       | 23   | 27   | 30   | 32,5 |
|                                                  | В35  | В40  | В45  | В50  |
| Сжатие осевое (призменная прочность) $R_b$ , МПа | 19,5 | 22   | 25   | 27,5 |
| Растяжение осевое $R_{bt}$ , МПа                 | 1,3  | 1,4  | 1,45 | 1,55 |
| Модуль упругости $E$ , МПа×10 <sup>3</sup>       | 34,5 | 36   | 37,5 | 39   |

В качестве рабочей арматуры монолитных железобетонных конструкций следует применять преимущественно горячекатаную стержневую сталь периодического профиля класса АII и АIII, в качестве монтажной — гладкую класса AI, руководствуясь нормами (СНиП 2.03.01-84).

### 1.3 Конструирование тоннельных обделок

Внешнее очертание обделки из монолитного бетона определяют в зависимости от инженерно-геологических условий. Толщину бетонных обделок назначают исходя из крепости окружающих пород и класса бетона. Для предварительного назначения геометрических размеров обделок из монолитного бетона можно пользоваться данными Таблицы 1.7, полученными на основании обобщения опыта проектирования. Однако следует помнить, что эти данные ориентировочные и правильность назначения размеров обделки обязательно должна проверяться статическими расчетами.

Таблица 1.7 – Ориентировочная толщина сечений бетонной обделки

| Габарит автодорожного тоннеля | Характерные сечения обделки   | Толщина сечения бетонной обделки, см, при коэффициенте крепости пород по Протоdjяконову |         |         |                  |         |         |                |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|------------------|---------|---------|----------------|
|                               |                               | 1                                                                                       | 2       | 3       | 4                | 5       | 6       | свыше 6        |
| Г–8 (7)                       | Замковое сечение $h_3$        | 80...75                                                                                 | 70...65 | 60...55 | 55...50          | 50...45 | 40      | 40             |
| Г–8,5 (8)                     |                               | 85...80                                                                                 | 75...70 | 70...60 | 60...55          | 55...50 | 40      | 40             |
| Г–9 (8,5)                     |                               | 90...85                                                                                 | 80...75 | 75...70 | 65...60          | 60...55 | 50...45 | 40             |
|                               | Условная пята свода $h_{\Pi}$ | $(1,4...1,3)h_3$                                                                        |         |         | $(1,3...1,1)h_3$ |         |         | $h_3$          |
|                               | Стена $h_{\text{ст}}$         | $(1,6...1,5)h_3$                                                                        |         |         | $(1,5...1,3)h_3$ |         |         | $(1,1...1)h_3$ |
|                               | Обрез фундамента $h_o$        | $(2,0...1,8)h_3$                                                                        |         |         | $(1,8...1,6)h_3$ |         |         | $1,5h_3$       |
|                               | Обратный свод $h_{\text{л}}$  | $(0,8...0,7)h_3$                                                                        |         |         |                  |         |         |                |

**Примечания:** 1. В прочных монолитных невыветривающихся неводоносных породах с  $f > 10$  выработка может быть оставлена без обделки. В случае выветривания этих пород устраивают защитную облицовку из набрызг-бетона. 2. В слабых породах с  $f = 1...3$  при применении обделки в виде пологого свода, опирающегося на массивные стены, принимают толщину стен  $h_{\text{ст}} \geq 1,7...2$  м при классе бетона В25 и высоте стен  $l \leq 5$  м. 3. В неустойчивых породах, в особенности водоносных, оказывающих на обделку всестороннее давление, а также в глинистых породах, склонных к пучению, необходимо сооружение обратного свода. 4. При увеличении размеров тоннеля в местах расположения остановочной полосы или площадки для аварийной остановки толщину замкового сечения необходимо увеличить на 10...15 см.

Конструкции автодорожных тоннелей устраивают в основном в виде пологих и подъемистых сводов, имеющих очертание по круговой кривой (Рисунком 1.4). В этом случае проектирование свода обделки выполняют в следующем порядке:

#### 1. Пролет в свету $l_0$ принимают:

$$l_0 = \Gamma + 2\Pi + 2\delta_3 + 2\delta_6 \quad (1.1)$$

— для дорог I и II категорий (габариты Г–9 и Г–8,5);

$$l_0 = \Gamma + \Pi + 3\Pi + 2\delta_3 \quad (1.2)$$

— для дорог III и IV категорий;

где  $\Gamma$  — ширина проезжей части тоннеля;

$\Pi$  — ширина служебного прохода;

$ЗП$  — ширина защитной полосы;

$\delta_3$  — зазор между стенами и углами габарита;

$\delta_6$  — ширина берм, принимаемая равной 10...20 см при схеме пологого свода, опертого на породу.

**2. Отношение пролета в свету к стреле подъема  $f_0$  принимают:**

$$\beta = 2,5...4,0 \quad (1.3)$$

— для пологого свода;

$$\beta = 2,1...2,4 \quad (1.4)$$

— для подъемистого свода.

**3. Определяют стрелу подъема в свету:**

$$f_0 = \frac{l_0}{\beta} \quad (1.5)$$

**4. Определяют радиус внутреннего очертания свода:**

$$r_0 = f_0 \frac{4 + \beta^2}{8} \quad (1.6)$$

Центр радиуса  $r_0$  устанавливают таким образом, чтобы расстояние от замка обделки до верхней границы габарита составляло не менее 3 м при продольной системе вентиляции и 4...4,5 м — при поперечной системе вентиляции.

**5. Пятовые сечения свода предварительно проводят в направлении нормалей к внутреннему очертанию свода по концам пролета в свету и определяют предварительный угол наклона пяты свода, вычисляя:**

$$\sin \varphi_{\text{пр}} = \frac{l_0}{2r_0} \quad (1.7)$$

**6. Пользуясь данными Таблицы 1.7, принимают сечения обделки в замке  $h_3$  и в пяте свода  $h_{\text{п}}$ .**

**7. Определяют предварительно расчетные (осевые) стрелу подъема и пролет свода:**

$$f_{\text{пр}} = f_0 + 0,5h_3 - 0,5h_{\text{п}} \cos \varphi_{\text{пр}} \quad (1.8)$$

$$l_{\text{пр}} = l_0 + h_{\text{п}} \sin \varphi_{\text{пр}} \quad (1.9)$$

**8. Пятовые сечения свода должны быть проведены нормально к его оси. При круговом наружном и внутреннем очертаниях свода ось его близка к круговой кривой. Поэтому с достаточной степенью точности угол  $\varphi$  может быть окончательно принят соответствующим круговому очертанию оси свода, т. е.:**

$$\sin \varphi = \frac{4f_{\text{пр}}l_{\text{пр}}}{4f_{\text{пр}}^2 + l_{\text{пр}}^2} \quad (1.10)$$

**9. Определяют окончательные (уточненные) расчетные стрелу подъема и пролет свода:**

$$f = f_0 + 0,5h_3 - 0,5h_{\pi} \cos \varphi \quad (1.11)$$

$$l = l_0 + h_{\pi} \sin \varphi \quad (1.12)$$

10. Находят расчетный (осевой) радиус свода:

$$r = \frac{0,5l}{\sin \varphi} \quad (1.13)$$

11. Определяют стрелу подъема и пролет наружного очертания свода:

$$f_1 = f + 0,5h_3 - 0,5h_{\pi} \cos \varphi \quad (1.14)$$

$$l_1 = l + h_{\pi} \sin \varphi \quad (1.15)$$

12. Наружное очертание свода очерчивают радиусом:

$$r_1 = \frac{4f_1^2 + l_1^2}{8f_1} \quad (1.16)$$

13. Центр внутреннего радиуса стены  $r_0'$  при подъемистом своде принимают на продолжении внутреннего радиуса свода  $r_0$ . Нижняя точка осевой линии на обресе фундамента находится посередине.

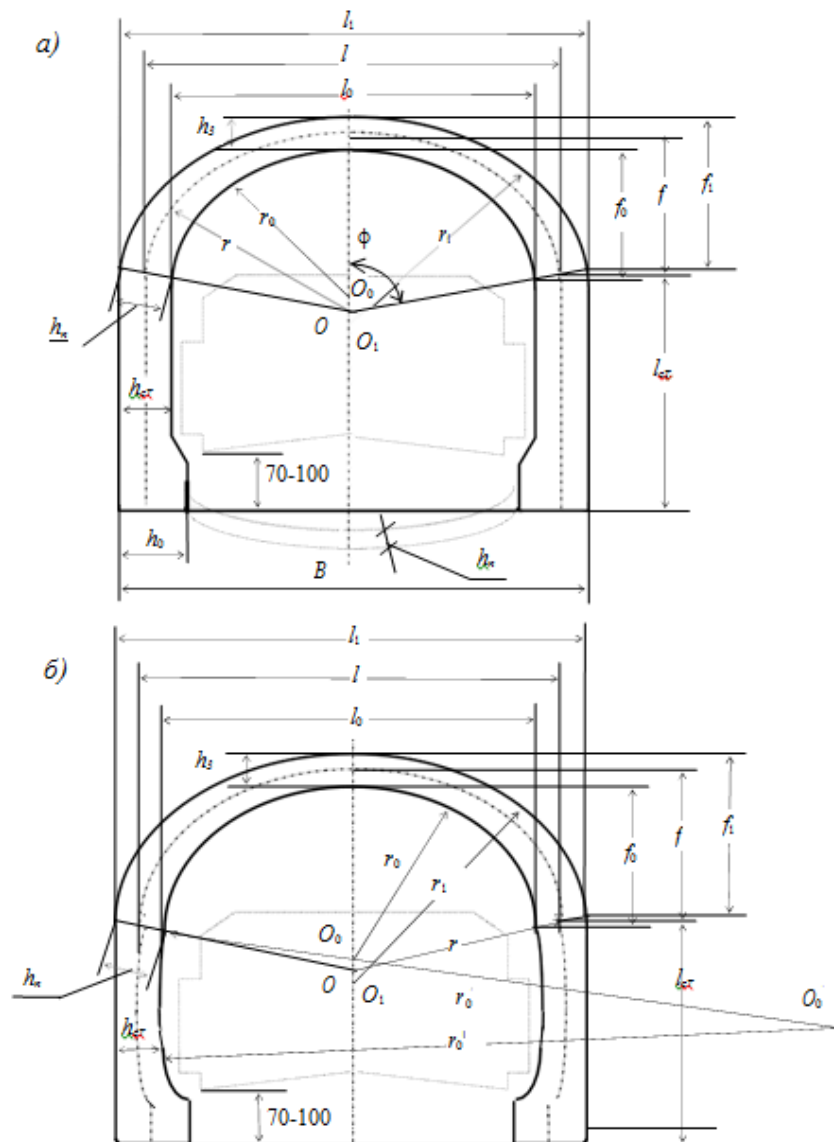


Рисунок 1.4 – Конструирование свода обделки: а — пологого свода; б — подъемистого свода

Высоту стены тоннеля определяют графически с учетом высоты вентиляционного канала и габарита, толщины проезжей части с подстилающим основанием и высоты фундамента.

На подошве выработки укладывают гравийно-щебеночное основание толщиной  $\delta_1 = 20 \dots 40$  см при асфальтобетонном покрытии и толщиной  $\delta_1 = 15 \dots 20$  см при цементно-бетонном покрытии. Поверх основания укладывают сточный треугольник из бетона толщиной по оси проезжей части, определяемой по формуле

$$h_{\text{т}} = 0,5\Gamma i \quad (1.17)$$

где  $\Gamma$  — ширина проезжей части по габариту;

$i$  — поперечный уклон, равный 20 ‰.

На сточном треугольнике устраивают покрытие из асфальтобетона толщиной 1...2 см или цементобетона толщиной 18...24 см. Высота фундамента от края проезжей части до подошвы выработки составляет 70...100 см.

Конструкции обделок из монолитного железобетона применяют в нарушенных скальных породах с  $f \leq 3$ , на припортальных участках, в тектонических зонах с повышенным горным давлением и в сейсмоопасных районах с сейсмичностью 7...9 баллов.

В скальных породах с коэффициентом крепости  $f > 7$ , в которых горное давление невелико и проявляется в виде отдельных вывалов, рациональны облицовочные обделки из набрызг-бетона в сочетании с анкерами. Обделку этого типа рекомендуется сооружать из железобетонных анкеров и набрызг-бетона, наносимого на металлическую сетку с ячейками 100×100 или 150×150 мм.

В курсовом проектировании расчет обделки из набрызг-бетона следует выполнять по указаниям главы 9. При всех типах обделки покрытие из набрызг-бетона может быть выполнено как по металлической сетке (армированный набрызг-бетон), так и без нее.

Тоннели должны быть защищены от проникания поверхностных и подземных вод.

В автодорожных тоннелях поперечный уклон проезжей части составляет 20 ‰ от оси к стенам. Вода течет вдоль защитных полос и сквозь чугунные решетки-трапы поступает в водоприемники, расположенные не реже чем через 40 м вдоль тоннеля, и оттуда через чугунные трубы диаметром 150 мм попадает в центральный дренажный коллектор, либо она отводится по водоотводным лоткам, расположенным по краям проезжей части.

Для хранения ремонтного оборудования в автодорожных тоннелях устраивают камеры по обеим сторонам тоннеля через 300 м в шахматном порядке. В тоннеле длиной 400 м предусматривают одну камеру посередине. Камеры имеют размеры: ширина — 2000 мм; глубина — 2000 мм; высота до шельги свода — 2500 мм. Между камерами располагают ниши через 60 м с каждой стороны тоннеля. Размеры ниш: 2000×500×2500 мм.

Конструкции порталов проектируют с учетом местных геологических и гидрогеологических условий, горного давления и устойчивости откосов.

## 2 ХОД РАБОТЫ

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

Таблица 2.1 – Исходные данные (вариант 6)

| Длина тоннеля,<br>м | Категория ав-<br>тодороги | Свод        | Порода | Коэффициент<br>крепости |
|---------------------|---------------------------|-------------|--------|-------------------------|
| Более 300           | III                       | Подъемистый | Слабая | 3                       |

Тоннель длиной более 300 м на дороге III категории: по Таблице 1.1 ширина проезжей части  $\Gamma = 8,0$  м. Служебный проход  $\Pi = 750$  мм устроен с одной стороны проезжей части, с другой стороны — защитная полоса  $ЗП = 500$  мм. Порода слабая, поэтому зазор между внутренним контуром обделки и углами габарита принят  $\delta_3 = 15$  см; бермы отсутствуют ( $\delta_6 = 0$ ), так как подъемистый свод опирается на стены. Конструирование выполняем в порядке, приведенном в пп. 1–13 подраздела 1.3.

**1) Пролет в свету.** По формуле (1.2) для дороги III категории:

$$l_0 = \Gamma + \Pi + ЗП + 2\delta_3 = 8000 + 750 + 500 + 2 \cdot 150 = 9550 \text{ мм} \quad (2.1)$$

**2) Отношение пролета в свету к стреле подъема.** Для подъемистого свода по формуле (1.4) принято

$$\beta = 2,25 \quad (2.2)$$

**3) Стрела подъема в свету** по формуле (1.5):

$$f_0 = \frac{l_0}{\beta} = \frac{9550}{2,25} = 4244,4 \text{ мм} \quad (2.3)$$

**4) Радиус внутреннего очертания свода** по формуле (1.6):

$$r_0 = f_0 \frac{4 + \beta^2}{8} = 4244,4 \cdot \frac{4 + 2,25^2}{8} = 4808,2 \text{ мм} \quad (2.4)$$

**5) Предварительный угол наклона пяты свода** по формуле (1.7):

$$\sin \varphi_{\text{пр}} = \frac{l_0}{2r_0} = \frac{9550}{2 \cdot 4808,2} = 0,993, \text{ откуда } \varphi_{\text{пр}} = 83^\circ \quad (2.5)$$

**6) Сечения обделки.** По Таблице 1.7 (строка для габарита  $\Gamma=8,5$  (8), коэффициент крепости  $f=3$ ): замковое сечение  $h_3 = 70$  см = 700 мм; условная пята свода — множитель (1,4...1,3), принято верхнее значение:

$$h_{\text{п}} = 1,4 \cdot h_3 = 1,4 \cdot 700 = 980 \text{ мм} \quad (2.6)$$

Одновременно по Таблице 1.7 назначены: стена  $h_{\text{ст}} = (1,6...1,5)h_3 = 1,6 \cdot 700 = 1120$  мм; обрез фундамента  $h_o = (2,0...1,8)h_3 = 2,0 \cdot 700 = 1400$  мм; обратный свод  $h_{\text{л}} = (0,8...0,7)h_3 = 0,8 \cdot 700 = 560$  мм (порода слабая, по примечанию 3 к Таблице 1.7 необходимо замкнутое очертание с обратным сводом).

**7) Предварительные расчетные (осевые) стрела подъема и пролет свода** по формулам (1.8) и (1.9):

$$f_{\text{пр}} = 4244,4 + 0,5 \cdot 700 - 0,5 \cdot 980 \cdot \cos 83^\circ = 4534,7 \text{ мм} \quad (2.7)$$

$$l_{\text{пр}} = 9550 + 980 \cdot \sin 83^\circ = 10522,7 \text{ мм} \quad (2.8)$$

**8) Уточненный угол пяты свода по формуле (1.10):**

$$\sin \varphi = \frac{4 \cdot 4534,7 \cdot 10522,7}{4 \cdot 4534,7^2 + 10522,7^2} = 0,989, \text{ откуда } \varphi = 82^\circ \quad (2.9)$$

**9) Окончательные расчетные стрела подъема и пролет свода по формулам (1.11) и (1.12):**

$$f = 4244,4 + 0,5 \cdot 700 - 0,5 \cdot 980 \cdot \cos 82^\circ = 4526,2 \text{ мм} \quad (2.10)$$

$$l = 9550 + 980 \cdot \sin 82^\circ = 10520,5 \text{ мм} \quad (2.11)$$

**10) Расчетный (осевой) радиус свода по формуле (1.13):**

$$r = \frac{0,5 \cdot l}{\sin \varphi} = \frac{0,5 \cdot 10520,5}{\sin 82^\circ} = 5311,9 \text{ мм} \quad (2.12)$$

**11) Стрела подъема и пролет наружного очертания свода по формулам (1.14) и (1.15):**

$$f_1 = 4526,2 + 0,5 \cdot 700 - 0,5 \cdot 980 \cdot \cos 82^\circ = 4808,1 \text{ мм} \quad (2.13)$$

$$l_1 = 10520,5 + 980 \cdot \sin 82^\circ = 11490,9 \text{ мм} \quad (2.14)$$

**12) Радиус наружного очертания свода по формуле (1.16):**

$$r_1 = \frac{4 \cdot f_1^2 + l_1^2}{8 \cdot f_1} = \frac{4 \cdot 4808,1^2 + 11490,9^2}{8 \cdot 4808,1} = 5836,8 \text{ мм} \quad (2.15)$$

**13) Толщина сточного треугольника по оси проезжей части по формуле (1.17):**

$$h_{\text{т}} = 0,5 \cdot \Gamma \cdot i = 0,5 \cdot 8000 \cdot 0,02 = 80 \text{ мм} \quad (2.16)$$

Центр внутреннего радиуса стены принят на продолжении внутреннего радиуса свода  $r_0$  (п. 13 подраздела 1.3); высоту стены определяют графически с учетом высоты вентиляционного канала и габарита, толщины проезжей части с основанием и высоты фундамента.

Основные параметры сконструированной обделки сведены в Таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Основные параметры обделки (вариант 6)

| Параметр                               | Обозначение           | Значение              |
|----------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Ширина проезжей части                  | $\Gamma$              | 8000 мм               |
| Пролет в свету                         | $l_0$                 | 9550 мм               |
| Стрела подъема в свету                 | $f_0$                 | 4244,4 мм             |
| Радиус внутреннего очертания свода     | $r_0$                 | 4808,2 мм             |
| Предварительный угол наклона пяты      | $\varphi_{\text{пр}}$ | 83°                   |
| Замковое сечение обделки               | $h_з$                 | 700 мм                |
| Условная пята свода                    | $h_{\text{п}}$        | 980 мм                |
| Стена                                  | $h_{\text{ст}}$       | 1120 мм               |
| Обрез фундамента                       | $h_o$                 | 1400 мм               |
| Обратный свод                          | $h_{\text{л}}$        | 560 мм                |
| Уточненный угол наклона пяты           | $\varphi$             | 82°                   |
| Осевые стрела подъема и пролет свода   | $f; l$                | 4526,2 мм; 10520,5 мм |
| Расчетный (осевой) радиус свода        | $r$                   | 5311,9 мм             |
| Наружные стрела подъема и пролет свода | $f_1; l_1$            | 4808,1 мм; 11490,9 мм |
| Радиус наружного очертания свода       | $r_1$                 | 5836,8 мм             |
| Толщина сточного треугольника          | $h_{\text{т}}$        | 80 мм                 |

**Вывод:** Таким образом, для тоннеля длиной более 300 м на дороге III категории в слабых породах с коэффициентом крепости  $f = 3$  запроектирована обделка подъемистого сводчатого очертания с обратным сводом: внутреннее очертание свода радиусом  $r_0 = 4808,2$  мм, наружное — радиусом  $r_1 = 5836,8$  мм при толщине замка 700 мм и пяты 980 мм. Правильность назначения размеров обделки в последующем проверяется статическим расчетом.

## 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.