

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	Трассирование по планам в горизонталях	5
1.3	План и продольный профиль тоннеля	6
2	Ход работы	7
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	10

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Общие положения

При трассировании автомобильных дорог по горной местности решают вопросы выбора:

- местного пересечения водораздела;
- уровня пересечения водораздела;
- вариантов трасс и подхода к водоразделу.

Трасса горных автомобильных дорог, как правило, представляет собой напряженные ходы, т. е. требует применения максимальных уклонов, и проектируется по нормам проектирования автодорог. Основные нормы проектирования автодорог приведены в Таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные нормы проектирования автомобильных дорог (категории дорог)

Показатели		I	II	III	IV
Расчетная среднесуточная интенсивность движения автомобилей, авт/сут		> 7000	3000... 7000	1000... 3000	100...1000
Наибольшая перспективная часовая интенсивность движения автомобилей, авт/ч		> 2400	1600... 2400	800...1600	< 800
Расчетные скорости движения, км/ч	основные	150	120	100	80
	на трудных участках пересеченной местности	120	100	80	60
	на трудных участках горной местности	80	60	50	40
Число полос движения, шт.		4 и более	2	2	2
Ширина полосы движения, м		3,75	3,75	3,5	3,0
Габарит приближения строения (для тоннелей)		Г-8,5 (9)	Г-8,5 (9)	Г-8 (8,5)	Г-7 (8)
Наибольшие продольные уклоны, ‰	основные	30	40	50	60
	на трудных участках пересеченной местности	40	50	60	70
	на трудных участках горной местности	60	70	80	90
Наименьшие радиусы кривых в плане, м	основные	1000	600	400	250
	на трудных участках пересеченной местности	600	400	250	125
	на трудных участках горной местности	250	125	100	80
Наименьшие радиусы вертикальных кривых (выпуклых), м	основные	30000	15000	10000	5000
	на трудных участках пересеченной местности	15000	10000	5000	2500
	на трудных участках горной местности	5000	2500	1500	1000
Наименьшие радиусы вертикальных кривых (вогнутых), м	основные	8000	5000	3000	2000
	на трудных участках пересеченной местности	5000	3000	2000	1500
	на трудных участках горной местности	2000	1500	1200	1000
Наименьшие радиусы вертикальных вогнутых кривых в исключительном случае, м	основные	4000	2500	1500	1000
	на трудных участках пересеченной местности	2500	1500	1000	600
	на трудных участках горной местности	1000	600	400	300
Радиусы серпантин, м		–	30	20	15

Самым удобным местом пересечения водораздела открытой трассой является наиболее низкая его седловина — перевал, благоприятная для трассирования подходов. В этом же месте, под перевалом, может быть запроектирован наиболее короткий тоннель. Но перевалы — это, как правило, места повышенного водопритока и тектонических нарушений, поэтому расположение тоннелей непосредственно под ними не рекомендуется. Более благоприятным, несмотря на увеличение длины тоннелей, следует считать размещение их в стороне от оси перевала.

Выбор уровня пересечения водораздела должен обеспечить безопасность движения и защиту трассы от снежных заносов, обвалов, лавин и оползней.

Место расположения порталов назначают исходя из экономичности подходов, геологических условий и способа производства земляных работ при разработке выемок. Максимальную глубину подходов при трассировании принимают равной 10...12 м в глинистых породах и 15...20 м — в скальных.

Подходы к водоразделу участки трассы выбирают на основе сравнения вариантов. Сравниваемые варианты обычно представляют трассы:

- большой протяженности с коротким тоннелем;
- малой протяженности с длинным тоннелем;
- через перевал без сооружения тоннеля.

В результате трассирования показываются преимущества тоннельного варианта перед бестоннельным:

- экономические (для курсового проекта — по прямым затратам);
- технологические:
 1. значительное уменьшение длины участка дороги;
 2. уменьшение количества преодолеваемых высот, крутых поворотов и искусственных сооружений, а также величины наибольших уклонов;
 3. отсутствие необходимости защиты дорог от снежных заносов, обвалов, лавин, оползней и осыпей;
 4. обеспечение безопасности и непрерывности движения транспорта, облегчение работы двигателей, уменьшение износа дорожного полотна и автомобильных шин;
 5. и вследствие вышеизложенного — уменьшение эксплуатационных расходов и обеспечение стабильности дорожного движения.

Средние ориентировочные величины прямых затрат строительной стоимости открытых участков автодороги и тоннелей приведены в Таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Прямые затраты строительной стоимости (цены 1984 г.)

Наименование объекта	Стоимость строительства на местности, тыс. руб.	
	пересеченной	горной
Открытый участок автодороги I категории, км	1400	2300
То же, II категории, км	850	1350
То же, III категории, км	450	750
То же, IV категории, км	210	420
Автомобильный тоннель, сооружаемый способом сплошного забоя, пог. м	—	25
То же, по частям, пог. м	—	35

1.2 Трассирование по планам в горизонталях

Задачей проектирования является трассирование участка дороги между пунктами А и Б. Уклоны дороги и радиусы кривых должны соответствовать установленным нормам.

Работа включает проектирование плана трассы, наколку и проектирование продольного профиля. Трассирование рекомендуется вести участками до 4...5 км, одновременно накатывая и проектируя профиль.

Необходимый шаг трассирования автомобильной дороги по плану в горизонталях с указанным масштабом и сечением горизонталями определяется по формуле:

$$l_{\text{тр}} = \frac{\Delta h}{i_{\text{max}}} \quad (1.1)$$

где $l_{\text{тр}}$ — шаг трассирования в натуре, км;

Δh — сечение горизонталями, м;

i_{max} — наибольший допустимый уклон автодороги, ‰.

Например, при сечении горизонталями через 50 м, $i_{\text{max}} = 80$ ‰ и масштабе плана 1:50000 (Рисунка 1.1):

$$l_{\text{тр}} = \frac{50}{80} = 0,625 \text{ км (в натуре); } l_{\text{тр}} = 1,25 \text{ см (в плане)} \quad (1.2)$$

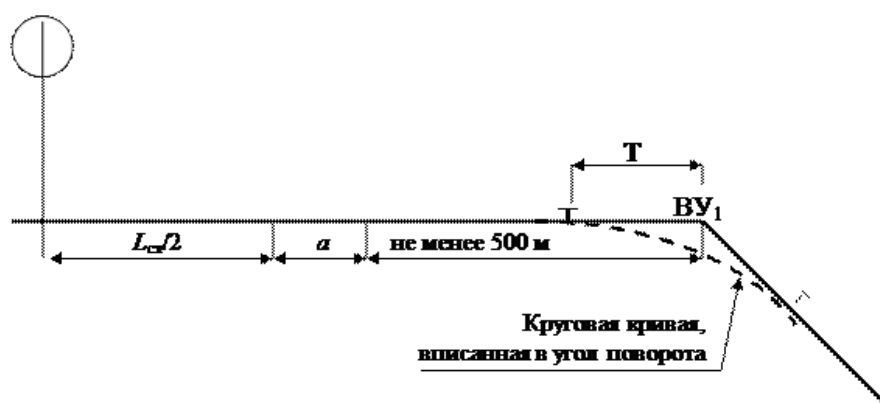


Рисунок 1.1 – Начало трассирования

Обозначения на Рисунок 1.1 приведены в Таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Обозначения к схеме начала трассирования

Обозначение	Смысл
$L_{\text{ст}}$	нормативная длина площадки раздельного пункта, м (см. Таблице 1.1)
a	запас на развитие раздельного пункта в перспективе; в курсовой работе разрешается принять $a = 200$ м
l	запас по длине на переходную кривую и тангенс круговой кривой, принимается не менее 500 м

При проектировании плана трассу необходимо уложить возможно ближе к циркульному ходу, т. е. к линии нулевых работ. Однако, когда циркульный ход образует высокую и частую «пилу», стремятся найти оптимальное значение высот насыпей и глубин выемок для лучшего распределения земляных масс. Это относится и к пересечению глубоких логов

и оврагов, где рекомендуется располагать искусственные сооружения (мосты, виадуки, трубы).

Минимально допустимые радиусы кривых в плане и вертикальных кривых, а также наибольшие продольные уклоны принимают в соответствии с основными нормами проектирования автодорог (Таблице 1.1).

При проектировании плана измерение углов производится транспортиром, сопряжение лучей при углах поворота трассы — вырезанными из картона шаблонами кривых или специальными лекалами.

Трассу автодороги показывают на плане местности цветной линией. Принятый вариант обычно выделяют красным цветом. На плане протрассированных вариантов должны быть проставлены:

- километровые знаки стандартного размера и пикеты справа по ходу километров тем же цветом, каким показан вариант;
- знаки отдельных пунктов слева от трассы; у знаков отдельных пунктов должны быть написаны их наименования;
- кривые с надписью величин радиуса R , угла поворота $У$ и основных элементов кривых, определяемых по таблицам (тангенса кривой T , длины кривой K и биссектрисы B).

Вверху плана делают надпись «Варианты трассы автомобильной дороги». Внизу плана справа указывают его масштаб, высоту сечения рельефа, условные обозначения вариантов трассы. Надписи располагают параллельно направлению трассы.

На миллиметровой бумаге высотой 297 мм вычерчивают схематические продольные профили трасс в масштабах: горизонтальном 1:2000, 1:5000 и вертикальном 1:200, 1:500. Все условные обозначения, размеры сетки граф, масштабы и шрифт должны соответствовать стандартам.

Продольные профили вычерчивают слева направо независимо от направления трассирования. На профилях должны быть нанесены: ординаты отметок поверхности земли по оси дороги и проектных отметок во всех точках перелома продольного профиля и на пикетах, искусственные сооружения и их рабочие отметки, проектные уклоны и вертикальные кривые, план трассы и кривые в плане, расстояния между точками перелома и другими характерными точками, пикеты и километры.

Проектные линии и их ординаты необходимо выделять более жирными линиями или красным цветом.

1.3 План и продольный профиль тоннеля

План и профиль тоннеля проектируются по нормам, установленным для открытых участков автодороги, с учетом особенностей, связанных с расположением трассы в подземных выработках.

В плане предпочтение следует отдавать расположению тоннелей на прямых участках дороги. Если по условиям рельефа возникает необходимость расположения тоннеля на кривой, радиус ее не должен быть менее 250 м. Исходя из условий безопасности движения

транспорта на кривых с радиусом менее 1000 м предусматривают уширение проезжей части, а при радиусах менее 2000...3000 м устраивают виражи. Тоннель, криволинейный в плане, рекомендуется располагать полностью на круговой кривой одного радиуса или, в крайнем случае, на кривых радиусах, близких по значению. Это способствует применению однотипных конструкций обделки и проходческого оборудования.

В продольном профиле горные автодорожные тоннели проектируют при длине тоннеля менее 300 м — односкатными, а при большей длине тоннели могут быть односкатными и двускатными (выпуклый профиль с подъемом к середине тоннеля). В средней части тоннеля на переломе профиля устраивают разделительные площадки длиной 250...500 м с уклонами до 3 ‰ в обе стороны.

Односкатный продольный профиль применяют обычно для петлевых, спиральных и коротких перевальных тоннелей, а двускатный — для длинных перевальных тоннелей. При выборе вида продольного профиля учитывают рельеф местности, горно-геологические условия эксплуатации тоннеля.

Минимальный продольный уклон в тоннеле принимают по условиям обеспечения водоотвода равным 3 ‰. Максимальный продольный уклон принимают по условиям обеспечения оптимальных режимов вентиляции равным 40 ‰.

При длине тоннеля до 500 м в сложных топографических условиях допускается увеличение продольного уклона до 60 ‰. На подходах к тоннелям длиной 250 м от портала наибольший продольный уклон дороги не должен превышать 45 ‰.

2 ХОД РАБОТЫ

Исходные данные приняты по варианту 6 и приведены в Таблице 2.1 план рельефа местности с расположением пунктов А и Б — на Рисунок 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные (вариант 6)

Величина	Значение
Местность	горная
Категория автодороги	IV
Сечение горизонталями Δh , м	10
Масштаб плана	1:10000

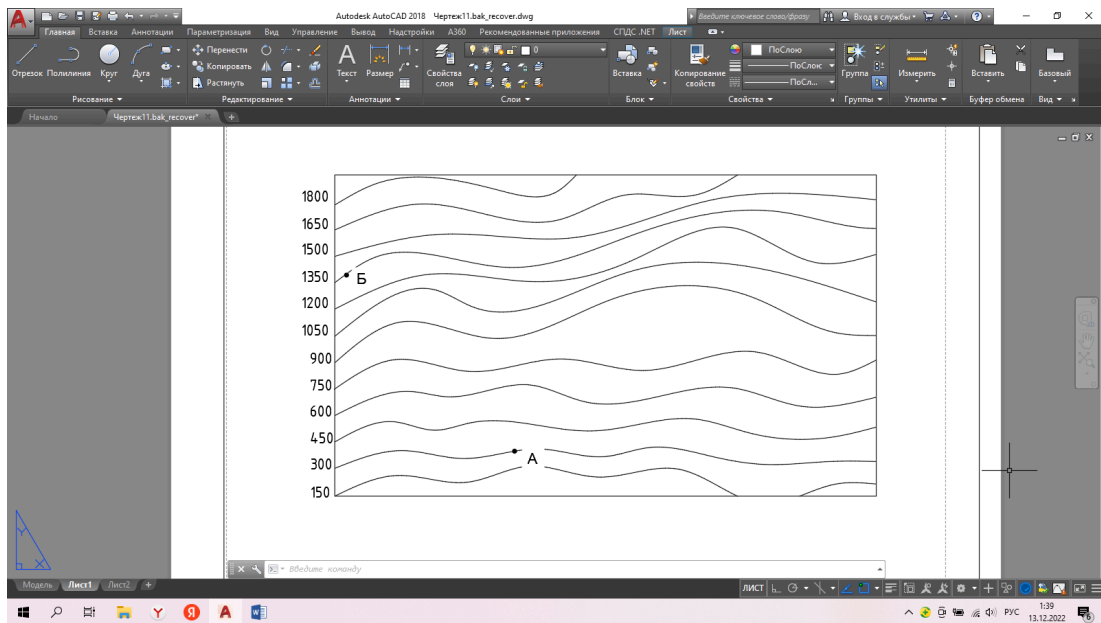


Рисунок 2.1 – План рельефа местности варианта 6 с расположением пунктов А и Б

1. Наибольший допустимый продольный уклон. Для автодороги IV категории на трудных участках горной местности по Таблице 1.1 наибольший продольный уклон составляет $i_{\max} = 90 \text{ ‰}$ (для основных участков — 60 ‰ ; трассирование в горной местности ведут по предельному уклону).

2. Необходимый шаг трассирования по формуле (1.1) при сечении горизонталями $\Delta h = 10 \text{ м}$ (на плане отметки горизонталей $200 \dots 350 \text{ м}$):

$$l_{\text{тр}} = \frac{10}{90} = 0,111 \text{ км (в натуре)} = 111 \text{ м} \quad (2.1)$$

3. Шаг трассирования в плане при принятом масштабе $1:10000$:

$$l_{\text{тр}} = \frac{111 \cdot 100}{10000} = 1,11 \text{ см (в плане)} \quad (2.2)$$

4. Построение участка трассы от точки А до точки Б. Раствором циркуля $1,11 \text{ см}$ выполнен циркульный ход от пункта А (северо-запад плана) к пункту Б (юго-восток) вдоль горизонталей; трасса уложена возможно ближе к линии нулевых работ. На участках «пилы» высоты насыпей и глубины выемок подобраны для балансировки земляных масс; на пересечениях глубоких логов предусмотрены искусственные сооружения. Сопряжение лучей при углах поворота выполнено шаблонами кривых радиусами не менее 250 м (основной наименьший радиус для IV категории), на участках горной местности допускаются радиусы до 80 м , серпантины — радиусами не менее 15 м . Пересечение водораздела выполнено тоннелем, размещенным в стороне от оси перевала; порталы назначены из условия глубины подходов выемок не более $15 \dots 20 \text{ м}$ в скальных породах.

5. Продольный профиль. Вычерчен схематический продольный профиль трассы в масштабах горизонтальном $1:5000$ и вертикальном $1:500$ с нанесением отметок поверхности земли, проектных отметок, уклонов, кривых в плане, пикетов и километров. Продольный уклон трассы не превышает 90 ‰ ; в тоннеле принят однокатный профиль с уклоном не менее 3 ‰ (водоотвод) и не более 40 ‰ (вентиляция).

Вывод: для автодороги IV категории в горной местности (вариант 6) рассчитан шаг трассирования: 0,111 км (111 м) в натуре и 1,11 см в плане при масштабе 1:10000 и сечении горизонталями 10 м; описан порядок построения плана трассы между пунктами А и Б и продольного профиля с соблюдением норм проектирования (наибольший продольный уклон 90 ‰, наименьшие радиусы кривых 250/80 м, серпантины 15 м) и требований к плану и профилю тоннеля.

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.