



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

В. И. Жуков, Т. В. Гавриленко
ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

УДК 625.72(07)
ББК 39.311-022я73
Ж860

Рецензенты:

С. В. Копылов, кандидат технических наук, доцент Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова;

Д. В. Филиппов, кандидат экономических наук, доцент Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова

Жуков, В. И.

Ж860

Изыскания и проектирование автомобильных дорог в сложных условиях : учеб. пособие / В. И. Жуков, Т. В. Гавриленко. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2019. – 122 с.

ISBN 978-5-7638-4083-4

Изложены вопросы проектирования автомобильных дорог в горных условиях, на участках схода снежных лавин и прохождения селевых потоков, в овражистой местности и районах распространения болот. Приведены примеры расчётов серпантин, длины пути снежной лавины, продолжительности осадки насыпи на торфяном основании. Даны контрольные вопросы к каждой главе.

Предназначено для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению «Строительство» (профиль «Автомобильные дороги»).

Электронный вариант издания см.:
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 625.72(07)
ББК 39.311-022я73

ISBN 978-5-7638-4083-4

© Сибирский федеральный университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Различные природные условия: наличие горных систем, заболоченных территорий, сели, сход снежных лавин, оползневые явления и эрозионные процессы, приводящие к появлению и развитию оврагов, – обуславливают особенности трассирования и проектирования автомобильных дорог. В то же время детальное проектирование автомобильных дорог в сложных природных условиях недостаточно полно изложено в учебной литературе. Поэтому рассмотренные в учебном пособии вопросы проектирования дорог в горных условиях, на участках схода снежных лавин и прохождения селевых потоков, в овражистой местности и районах распространения болот позволяют применять различные варианты по проектированию конструкций земляного полотна с учётом этих условий.

Примеры, приведённые в учебном пособии, существенно дополняют теоретические вопросы, изложенные в используемой учебной литературе.

Особенностью учебного пособия является возможность его использования его материалов как при новом строительстве, так и при реконструкции автомобильных дорог.

Глава 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

1.1. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГОРНЫХ РАЙОНОВ. ВИДЫ ТРАССИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

При проектировании автомобильных дорог необходимо учитывать влияние климата на состояние дорожных конструкций в зависимости от высоты и различной экспозиции горных склонов. Особенно это важно для учёта образования гололедицы и снежного наста, так как количество осадков увеличивается на 40–60 мм на каждые 1000 м подъёма. Давление воздуха уменьшается с подъёмом и оказывает заметное влияние на водителя и работу двигателя (мощность двигателя на каждые 1000 м подъёма снижается на 11,2 %, что отрицательно сказывается на его тяговых качествах). Ветер вызывает появление локальной гололедицы в пониженных участках и заносов дорог снегом.

При проектировании дорог следует различать 3 группы склонов.

1. *Пологие* – крутизной до 30°, характеризующиеся замедленным движением обломков каменного материала и отсутствием передвижения мелких частиц.

2. *Крутые* – крутизной от 30 до 60°, на которых наблюдается ускоренное движение обломков горных пород с подпрыгиванием.

3. *Очень крутые* – крутизной более 60°, когда имеет место свободное падение камней.

По морфологическим признакам различают горы:

- *высокие* – поднимающиеся выше снеговой границы, имеющие пирамидальные вершины, острые гребни высотой более 3000 м (Памир, Тянь-Шань, Кавказ);

- *средневысокие* – отличающиеся округлыми вершинами, пологими склонами (Копетдаг, Северный и Средний Урал, Западный и Восточный Саян и др.) высотой от 1000 до 3000 м;

- *низкие* – не превышающие 1000 м.

В горных районах почвенный покров очень незначительный, на крутых склонах видны коренные породы, часто покрытые продуктами выветривания. При этом пласты горных пород имеют наклоны от горизонтальных

до почти вертикальных, разрывы, сбросы, сдвиги. Пласты известняков или песчаников могут разделяться прослойками глины, при насыщении которой влагой возможны сдвиги – оползни вышележащих пластов.

Наиболее часто встречающиеся виды залегания пластов: горизонтальные залегания (рис. 1.1, *а*); падение пластов (рис. 1.1, *б*); падение пластов внутрь склона (рис. 1.1, *в*); прислонное залегание более молодых пород относительно древних (рис. 1.1, *г*). Характерные залегания пластов необходимо учитывать при устройстве земляного полотна (особенно выемок).

При врезке полотна дорог в горный склон откос выемки «прорезает» напластования, изменяя напряжённое состояние склона, сложившееся в течение его длительной геологической истории. При разработке горных массивов сплошность отдельных слоёв нарушается, а устойчивость обеспечивается только сдвиговыми усилиями внутри слоя. Кроме того, обнажённые слои, ранее закрытые более устойчивыми породами, начинают быстро выветриваться. Особенно опасны осадочные породы, в толще которых залегают прослойки глины, метаморфические сланцы.

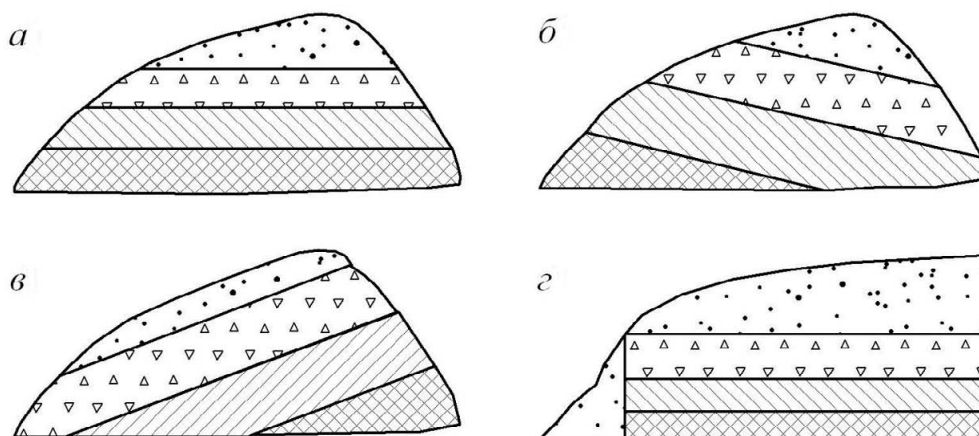


Рис. 1.1. Виды залегания пластов: *а* – горизонтальные залегания;
б – падение пластов; *в* – падение пластов внутрь склона;
г – прислонное залегание более молодых пород относительно древних

Изверженные породы более прочны, но так как в верхних слоях эти породы трещиноваты, то в результате выветривания и тектонических процессов необходимо считаться с возможностью потери устойчивости отдельных массивов, выделенных трещинами. Поэтому крутизна откосов в горных условиях должна назначаться дифференцированно, для каждого конкретного случая, с учётом возможных деформаций.

Деформации склонов, согласно классификации Н. Н. Маслова, можно свести к ряду типичных [3]:

- осыпание с крутых склонов продуктов выветривания, образующихся в результате переменных воздействий атмосферных факторов: нагревание-охлаждение, замерзание-оттаивание воды в трещинах, увлажнение-высыхание (*осыпи*);

- обвалы и выпадение отдельных камней и обломков с крутых обрывистых уступов в скалистых породах с сильной трещиноватостью (*камнепады*);

- сплав относительно тонких поверхностных слоёв грунтовых склонов в результате переувлажнения осадками (*сели*);

- пластическое сползание глинистых склонов. Оно проявляется, в частности, в разрушениях подпорных стенок после длительной работы. При загрузке таких склонов насыпью или подрезании их выемкой скорость деформации увеличивается, а пластические сдвиги могут перейти в обрушение;

- обрушение части однородной грунтовой толщи при чрезмерной крутизне откосов, происходящее со срезом по образующей поверхности скольжения и с некоторым поворотом смещённой части вокруг горизонтальной оси;

- смещение части грунта по подстилающим поверхностям в результате потери сцепления в зоне контакта. Причиной этого может явиться переувлажнение подстилающего слоя при его наклонной поверхности, боковое давление масс грунта, гидродинамическое давление просачивающейся грунтовой воды;

- обрушение с образованием вертикальной трещины и боковым смещением отделившегося блока в результате выжимания подстилающих грунтов с малой несущей способностью (размягчённые глины и плавучие пески), переувлажнения просадочных лёссов, таяния прослоек каменного льда.

В природе обычно каждая деформация оказывается результатом проявления нескольких форм. Это значительно усложняет разработку мероприятий по обеспечению устойчивости склонов, требуя внимательного изучения местных геологических условий.

Изыскание, проектирование, строительство, а в последующем и эксплуатация горных дорог осложняется рядом факторов:

- сильно пересечённым рельефом, изобилующим крутыми склонами, обрывами, перевалами;

- своеобразными климатическими условиями (резкие перепады температур как в годовом, так и в суточном и даже в часовом циклах);

- специфическими гидрогеологическими и геологическими условиями (оползни, осыпи, сели, снежные лавины).

Трассирование в горных условиях ведут, применяя следующие виды ходов.

Долинный. Трассу укладывают вдоль реки. При этом в продольном профиле отсутствуют резкие переломы, в плане трасса дороги очень извилиста, имеет кривые малого радиуса, поэтому следует предусмотреть мероприятия по обеспечению устойчивости насыпи. При выборе варианта трассы дороги по долине реки необходимо учитывать ряд важных факторов:

- наличие крутых склонов, обрывающихся местами к реке (прижимы);
- наличие значительных боковых притоков;
- сложные физико-геологические явления (сплавы, оползни, снежные лавины и др.);
- гидрологические условия реки (скорость, характер течения воды, ледохода и паводков, наличие наледей, деформация русла и берегов и др.).

Косогорный. Трассирование ведут по склонам гор с заходом в боковые долины. В этом случае необходимо предусмотреть тщательный поперечный водоотвод путём проектирования нагорных и перехватывающих канав. По длине трассы проектируют много искусственных сооружений. Земляное полотно устойчиво только в полках. В остальных случаях следует предусматривать мероприятия, повышающие устойчивость земляного полотна.

Водораздельный. Трассу в основном прокладывают вдоль водораздела. Имеются участки с максимальным продольным уклоном i_{\max} . В районах с сильными снегопадами есть опасность снегового заноса дороги. В этих случаях водоотвод обеспечен или его решение не вызывает трудностей.

Перевальный. Трассу ведут из долины на водораздел к перевалу, причём длина её значительно увеличивается за счёт развития длины линии с руководящим уклоном. Развитие трассы осуществляют с применением серпантинных ходов и предельных значений геометрических элементов дороги. Длина трассы может быть несколько сокращена за счёт устройства глубоких выемок или тоннелей.

На горных дорогах значительного протяжения имеют место все виды вышеуказанных ходов.

1.2. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ ГОРНЫХ ДОРОГ

Одной из особенностей проектирования продольного профиля является расположение земляного полотна на косогоре. В зависимости от уклона косогора при одной и той же отметке по оси земляного полотна могут быть большие насыпи и выемки. При проектировании продольного

профиля необходимо параллельно вычерчивать поперечные профили местности и с учётом отметок продольного профиля склона и поперечного уклона обосновывать земляное полотно. Отметки продольного профиля корректируются двумя способами:

- смещением трассы в плане в нужную сторону по данным поперечных профилей;
- изменением величины углов поворота трассы.

Это трудные задачи, и решать их надо ещё на местности.

Продольный профиль определяется по динамическим характеристикам автомобилей. Исследования работы двигателя автомобиля в горах показали, что его мощность снижается с увеличением высоты подъёма (табл. 1.1). В таких случаях необходимо строить индивидуальные графики динамических характеристик автомобилей.

Таблица 1.1

**Снижение мощности двигателя в зависимости
от высоты подъёма**

Высота подъёма, м	Снижение мощности двигателя, %
1000	11,3
2000	21,3
3000	30,8
4000	39,2
5000	46,7

Назначение продольного уклона дороги в горах – задача не только техническая, но и экономическая. С одной стороны, применение его предельного значения ведёт к снижению объёмов земляных работ и сокращению длины трассы. С другой стороны, имеет место перегрузка задних осей автомобиля, что приводит к повышенному износу шин. Из-за снижения атмосферного давления (снижения точки кипения) происходит преждевременный нагрев двигателя.

На участках с затяжным уклоном увеличивается расход топлива, имеет место большое количество переключений передач, частые остановки автомобиля. Поэтому в соответствии с рекомендациями СП 34.13330.2012 [5] на участках с затяжными уклонами более 60 ‰ необходимо предусматривать обязательное устройство мест остановок через 2–3 км (устройство горизонтальных площадок длиной 50 м) или вставку участков дороги с продольным уклоном 20 ‰ (желательно у источников воды).

На участках дорог II и III категорий с продольными уклонами более 60 ‰ и длиной более 3 км независимо от наличия остановочных площадок перед резким изменением направления дороги устраивают противоаварийные съезды, заканчивающиеся опилочными ловушками.

Вопросами размещения уполаживающих площадок занимался профессор А. Е. Бельский [13]. Он пришёл к следующим выводам:

1. Применение вставок с уклонами от 0 до 20 ‰ не способствует полной реализации эксплуатационных качеств автомобиля и дороги, что приводит к увеличению времени сообщения между пунктами (из-за потери высоты движения).

2. За счёт устройства уполаживающих площадок стоимость строительства дороги увеличивается на 10–15 %.

3. При движении на подъёмах с уполаживающими площадками водитель вынужден прибегать к частой перемене передач.

4. Так как на затяжных подъёмах или спусках всё же возникает необходимость в остановках автомобиля, то на этих участках А. Е. Бельский рекомендует через 2 км устанавливать местные уширения проезжей части шириной $B = 3$ м и длиной $L \geq 50$ м с уклонами до 30 ‰ (рис. 1.2).

Замена уполаживающих площадок местными уширениями проезжей части даёт возможность обеспечить непрерывное движение основного потока автомобилей, безопасность вынужденных остановок для набора воды или охлаждения двигателя, избежать дополнительного удлинения трассы на затяжных уклонах, уменьшить объём земляных работ.

Расстояние между остановочными площадками зависит от состава движения, уклонов проектной линии и рельефа.

При совпадении кривой малого радиуса в плане с предельным уклоном продольного профиля автомобиль, движущийся по внутренней полосе, преодолевает уклон, больший предельного, за счёт сокращения длины траектории движения по сравнению с автомобилем, движущимся по внешней полосе криволинейного участка дороги.

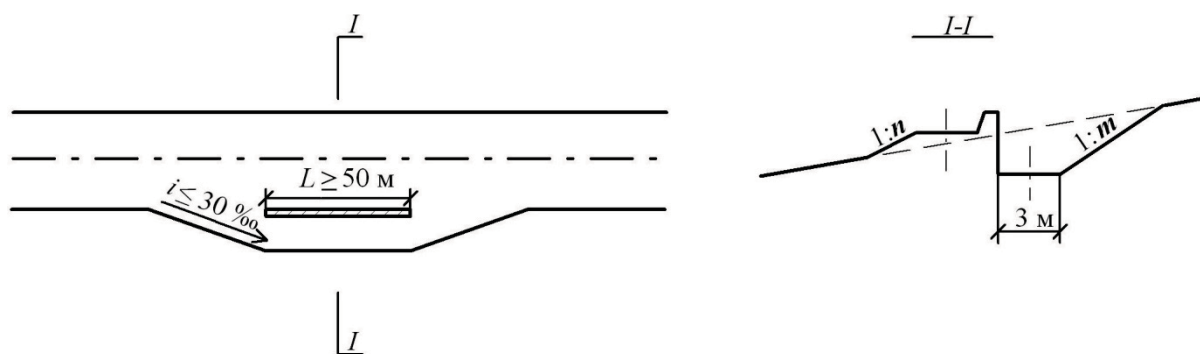


Рис. 1.2. Схема местного уширения проезжей части на затяжных подъёмах

В соответствии с рекомендациями СП 34.13330.2012[5] необходимо уменьшать предельное значение уклона на кривых малого радиуса с обязательным устройством виража. При этом для расчёта принимается максимальное значение уклона.

$$i_{\max} = \sqrt{i_1^2 + i_2^2},$$

где i_1 – продольный уклон дороги; i_2 – поперечный уклон проезжей части. В соответствии с нормативными требованиями поперечный уклон следует принимать $i_2 \leq 0,04$.

При проектировании поперечных профилей земляного полотна дорог в горных условиях необходимо руководствоваться рекомендациями СП 34.13330.2012, указаниями по проектированию земляного полотна, типовыми проектами, нормами отвода земель с учётом плана и продольного профиля дороги [10, 24, 28]. В практике проектирования наиболее часто встречаются следующие поперечные профили земляного полотна: полунасыпь-полувыемка, выемка, полка, насыпь на косогоре, полутоннель, балкон.

Полунасыпь-полувыемка (рис. 1.3). Такой поперечный профиль земляного полотна применяется редко. Это земляное сооружение выполняют на косогоре путём срезки части естественного грунта и отсыпки его в полунасыпь. Устойчивость полунасыпи зависит от крутизны косогора, типа грунта, ширины полунасыпи. Для обеспечения устойчивости устраивают уступы шириной до 2 м, высотой 0,5 м с приданием им обратного уклона до 30 ‰. Откосам насыпей и выемок придают уклоны с учётом типа грунта в соответствии с требованиями СП 34.13330.2012 [5].

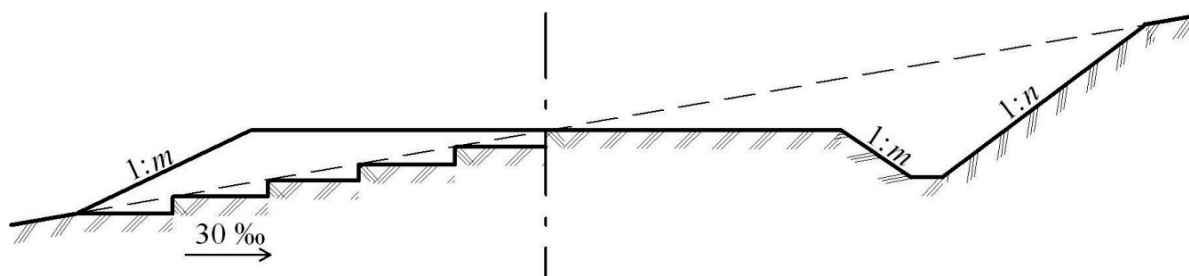


Рис. 1.3. Поперечный профиль полунасыпи-полувыемки

Выемка (рис. 1.4). Это часто встречающийся тип земляного полотна, особенно на перевальных участках. Глубина колеблется от 1 до 16 м. Заложение откосов назначается с учётом грунтовых условий, водоотвода

и обеспечения снегоочистки. Если откос глубокой выемки по высоте пересекает несколько горных пород, то ему придают переменную крутизну. Глубина кюветов и их форма обосновывается гидравлическими расчётами [12].

Полка (рис. 1.5). Такой тип поперечного профиля применяется, когда поперечный уклон склонов $i_{скл}$ превышает 300 ‰. При его устройстве возрастают объёмы земляных работ, но в то же время обеспечивается высокая устойчивость земляного полотна.

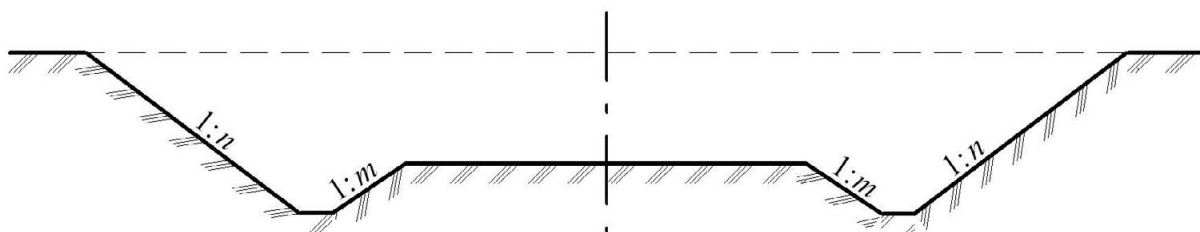


Рис. 1.4. Поперечный профиль выемки

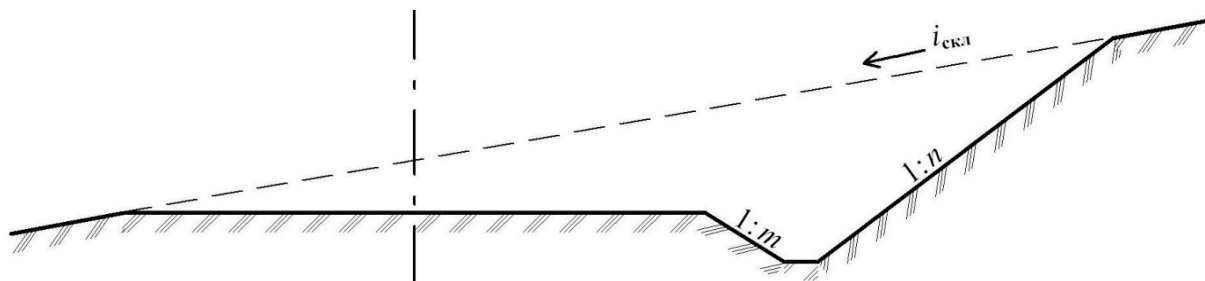


Рис. 1.5. Поперечный профиль полки

Насыпь на косогоре. Это часто применяемый тип поперечного профиля земляного полотна в горных условиях. В основании земляного полотна при косогорности от 1:10 до 1:15 производят рыхление грунта; при косогорности от 1:5 до 1:3 нарезают уступы шириной не менее 2 м, высотой 0,5 м с приданием уступу уклона 20 ‰. На расстоянии не менее 2 м от основания насыпи надлежит устраивать нагорные канавы с банкетом, располагаемыми с нагорной стороны. На косогорах крутизной менее 1:5, а также в скальных грунтах нагорные канавы допускается проектировать без банкетов [12].

Если крутизна склонов превышает 35° , то объём земляных работ при устройстве насыпи за счёт скатывания грунта по склону значительно возрастает. В этом случае целесообразно низовой откос насыпи на косогоре выполнять в виде подпорной стенки (рис. 1.6).

Полутоннель (рис. 1.7). Применяется на участках горных склонов с отвесными стенками из прочных массивных горных пород или при благоприятных напластованиях горных массивов.

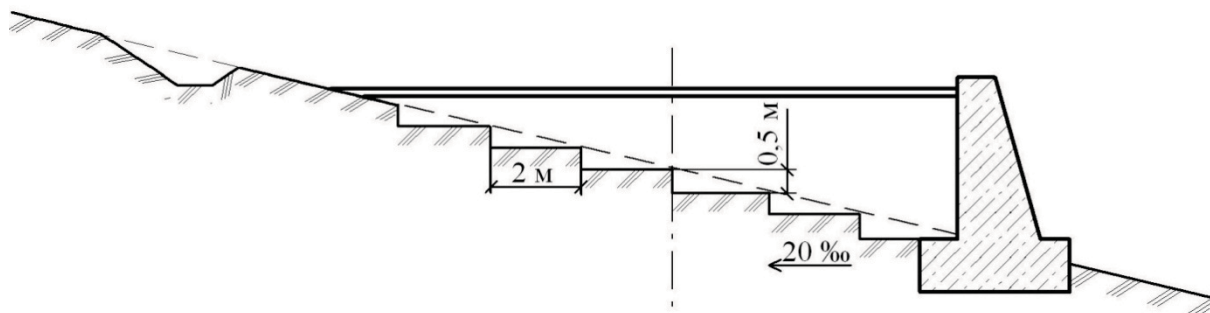


Рис. 1.6. Насыпь на косогоре с подпорной стенкой

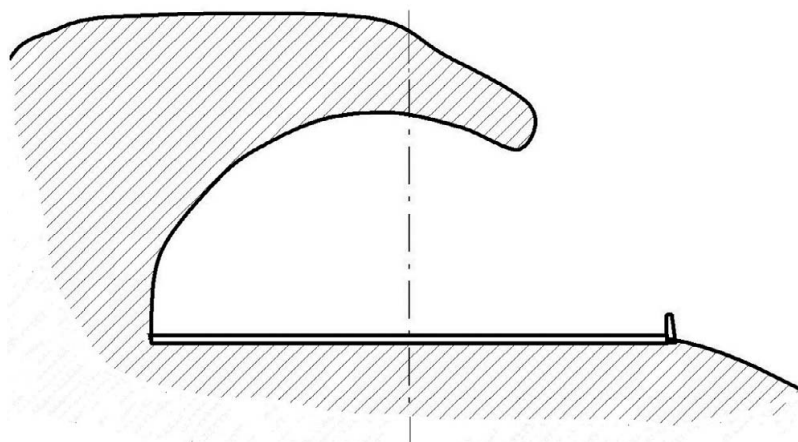


Рис. 1.7. Поперечный профиль полутоннеля

При этом дорога в максимальной степени защищена от воздействия камнепада, схода снежных лавин, селевых паводков, угрозы обрушения нависающего над дорогой скального массива.

Балкон. Это сооружение применяется на подходах к мостам или на участках с крутыми склонами, когда часть поперечного профиля дороги расположена над склоном. Балкон представляет собой заделанную в гор-

ном склоне консольную конструкцию, на которой частично или полностью располагается дорожная одежда. В настоящее время балконы делают преимущественно сборной железобетонной конструкции (рис. 1.8).

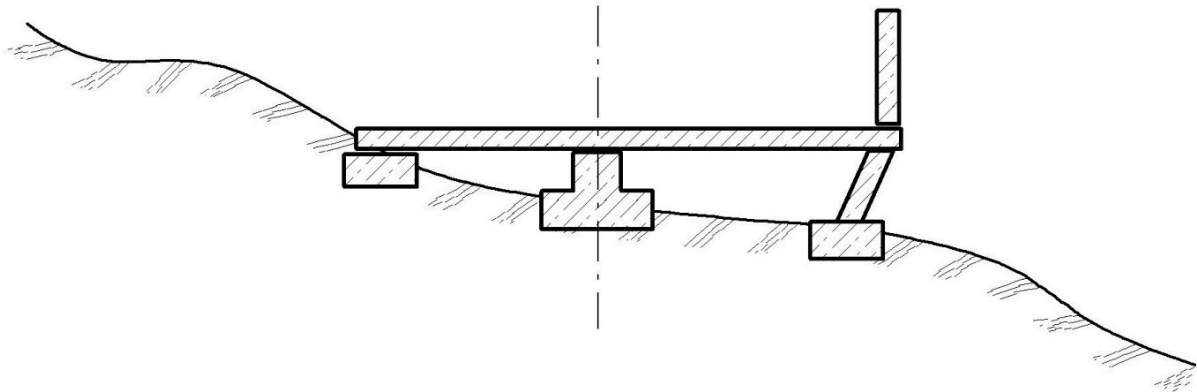


Рис. 1.8. Балкон

Данная конструкция применяется на обрывистых склонах, сложенных из прочных массивных горных пород при благоприятных напластованиях, когда смещение трассы в сторону горы связано с громадными объёмами скальных работ (соответственно, с очень большой стоимостью).

1.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРПАНТИН ПЕРВОГО РОДА

Серпантина – вид кривой в плане, описываемой с внешней стороны угла поворота трассы между двумя её направлениями, сходящимися под острым углом. Применяется, как правило, при проложении дорог в горной местности, на крутых горных склонах. В общем случае состоит из основной кривой, двух вспомогательных кривых и двух прямых вставок, устраиваемых между основной и вспомогательными кривыми [27].

Серпантины могут иметь самое разнообразное очертание в плане и делятся на две группы: серпантины первого рода и серпантины второго рода [22].

Серпантинной первого рода называют сопряжение, состоящее из основной кривой AB , двух вспомогательных кривых BCD и $AC'D'$, направленных выпуклостями в разные стороны (рис. 1.9). *Серпантинной*