

Глава 12. Особенности проектирования автомобильных дорог в горной местности.

В горных районах в связи с невысокой плотностью сети железных дорог и малым числом аэродромов основные объемы перевозок осуществляются по автомобильным дорогам. Однако проектирование и строительство автомобильных дорог в горных районах имеет специфические особенности и часто связано с решением ряда сложных проблем. Горный рельеф характеризуется значительными перепадами высот на относительно коротких расстояниях, крутыми склонами гор и обрывами, глубокими извилистыми долинами бурных рек.

Сложное геологическое строение горных районов, часто сильно меняющееся на коротких расстояниях, интенсивное неравномерное во времени выпадение атмосферных осадков и наличие, в связи с этим большого количества бурных водотоков, обладающих огромной разрушительной силой, приводят к эрозии горных пород.

Вследствие этого происходит интенсивный перенос больших объемов продуктов выветривания по крутым склонам, перенос их многочисленными горными потоками и аккумуляция в пониженных местах. Неустойчивость форм рельефа и горных геологических напластований приводит к появлению многочисленных оползней, осыпей, обвалов, селевых потоков, что определяет сильное удорожание строительства автомобильных дорог в связи с необходимостью строительства большого количества искусственных сооружений и проведение других инженерных мероприятий по обеспечению устойчивости полотна дорог на горных склонах. Сильное удорожание стоимости строительства автомобильных дорог в горной местности определяют также большие объемы земляных работ, к тому же часто проводимые в скальных грунтах, а также необходимость строительства разного рода многочисленных искусственных сооружений: водопропускных труб, мостов, подпорных и одевающих стенок, лавинозащитных галерей, тоннелей и т.д.

По условиям проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог различают следующие характерные геоморфологические зоны горных районов:

- предгорные районы;
- долины горных рек;
- горные склоны;
- водораздельные (перевальные) седловины или плато.

Природные условия горных районов резко меняются на коротком протяжении с четким проявлением вертикальной зональности — изменением

природно-климатических условий по мере возвышения 390 над уровнем моря: средняя температура воздуха понижается на 0,5 °С на каждые 100 м высоты, атмосферное давление падает в среднем на 1 мм ртутного столба на каждые 15 м высоты, годовые суммы атмосферных осадков возрастают на 40—60 мм на каждые 100 м высоты.

В отличие от других типов местности направление трассы горных дорог определяется главным образом расположением горных хребтов и отрогов, которые являются водоразделами бассейнов горных рек. Переход дороги с одного бассейна в другой осуществляется через пониженные места хребтов — седловины.

12.1.1. Трассирование дорог в горной местности

При проложении трассы в горной местности встречаются три типичных случая проектирования автомобильной дороги в увязке с окружающим ландшафтом:

- в предгорьях;
- в долинах горных рек;
- на перевальных высокогорных участках.

Предгорье обычно представляет собой наклонную равнину, переходящую в холмистую местность вблизи гор.

При трассировании дорог в предгорье наибольшая сложность заключается в выявлении основных форм рельефа, с которыми должно быть увязано ее проложение, без подчинения мелким второстепенным элементам. Трасса должна складываться из минимально необходимого количества пологих кривых большого радиуса.

Весьма важной и трудной задачей трассирования дорог в холмистой местности является совместное решение их плана и продольного профиля как единой плавной пространственной линии. Элементы рельефа никогда не имеют геометрически правильных очертаний. Поэтому сочетание только прямых и круговых кривых не может обеспечить полного слияния трассы дороги с ландшафтом. Распространенный до сих пор принцип трассирования путем вписывания круговых кривых в изломы прямых ходов оказывается недостаточным. Возникает необходимость в более гибких элементах трассы, которые могут плавно сочетать между собой более жесткие элементы — прямые и круговые кривые. Такими элементами являются переходные кривые большой длины, с помощью которых может быть обеспечено плавное вписывание дороги в рельеф местности.

В связи с этим для проектирования автомагистралей стало характерным использование переходных кривых как самостоятельного элемента трассы, равноправного с прямыми и кривыми. Введение *переходных кривых* повышает оптическую плавность трассы.

При близком расположении углов поворота между переходными кривыми практически не остается прямых участков. Поэтому при сильно пересеченном рельефе трасса дороги может включать только сопрягающиеся круговые и переходные кривые, практически без прямых вставок.

Длины переходных кривых клотоидной трассы, как правило, значительно превышают необходимые для плавного нарастания бокового усилия при въезде на кривую малого радиуса. Однако введение переходных кривых для обеспечения оптической плавности трассы необходимо лишь при радиусах кривых в плане, меньших чем 5000...6000 м. Искажение в перспективе кривых больших радиусов настолько мало, что поворот сохраняет плавный вид и без переходных кривых.

Криволинейная клотоидная трасса имеет *ряд преимуществ* для движения по сравнению с прямолинейными участками дорог:

- на кривых больших радиусов, на которые не распространяются ограничения правил движения, водители лучше, чем на прямых, оценивают условия обгона;
- на кривых водитель менее подвергается опасности ослепления фарами встречных автомобилей;
- при движении по кривым водитель более контрастно видит ситуации и элементы ландшафта, не только надвигающиеся на него, но и перемещающиеся перед его глазами перпендикулярно направлению движения — смена пейзажей уменьшает утомляемость;
- криволинейность клотоидной трассы дает возможность тщательно учитывать при проложении дороги смену грунтов и геологических напластований, а также гидрогеологические условия;
- трассирование сопрягающимися переходными кривыми позволяет лучше вписать дорогу в ландшафт, обеспечив повышение устойчивости земляного полотна и уменьшение объемов земляных работ.

Трассирование дорог по долинам горных рек связано с тем, что уклоны горных рек обычно меньше продольных уклонов, допускаемых на горных дорогах. Лишь в верховьях водотоков, при переходе дороги из долины на перевальный участок, продольные уклоны могут превысить максимально допустимые. Направление трассы дороги при долинном ходе в плане определяется извилистостью склонов речной долины, впадающими в нее водотоками,

неустойчивыми участками склонов, наличием скальных выступов («прижимов»), которые приходится огибать, прорезать глубокими выемками, короткими тоннелями или переносить дорогу на другой берег реки.

В связи с ограниченной возможностью смещения трассы долинные ходы относят к категории «стесненных», или «вынужденных в плане». Выбор решения трассы, наилучшего в каждом конкретном случае, зависит от категории дороги и основывается на технико-экономическом сопоставлении вариантов, учитывающем стоимость их строительства и транспортные расходы. Для современного строительства горных дорог с интенсивным движением характерно смелое трассирование по дну долины с неоднократным пересечением реки на близком расстоянии и устройством коротких тоннелей.

Дорогу, проходящую вдоль долины, всегда желательно располагать выше максимального горизонта воды в реке на таком расстоянии, чтобы исключить возможность подмыва земляного полотна. В узких, стесненных долинах с очень крутыми скальными склонами земляное полотно иногда приходится размещать очень близко к водотоку, устраивая так называемые прилонные насыпи из крупных камней, отсыпаемых в реку вплотную к скальному откосу до проектной отметки, превышающей наивысший горизонт высоких вод. С речной стороны откос земляного полотна в таких случаях подвергается опасности подмыва и его приходится очень надежно укреплять. В ряде случаев возможны спрямления русла рек.

Существует много способов укрепления земляного полотна:

- устройство берегоукрепительных подпорных стен, возводимых на прочных подстилающих породах;
- каменная или бетонная облицовка откосов, упирающаяся в заглубленный фундамент (зуб), препятствующий подмыву;
- применение скользящих вниз по откосу бетонных блоков или плит, оседающих по мере подмывания;
- укладка на откосах фигурных бетонных элементов (тетраподов, тетраэдров и др.), сцепляющихся друг с другом и опускающихся при подмыве;
- применение бетонных тюфяков из связанных друг с другом блоков, опускающихся при подмыве.

При выборе положения трассы должны быть изучены геологическое строение склонов долины, режимы пересекаемых водотоков и возможность снежных обвалов. При значительной крутизне склонов в неблагоприятных геологических условиях для обхода участков оползней или осыпей либо ложин с опасными селевыми выносами трассу переносят с одной стороны до-

лины на другую. Для плавности трассы реку пересекают под углом с устройством косых мостов на цилиндрических столбчатых опорах. Чтобы уменьшить объем земляных работ, в особенности скальных, трассу прокладывают по наиболее пологой части склоном, следуя за основными изгибами долины.

При трассировании по склонам речной долины во всех характерных местах изменения крутизны косогора и в плюсовых переломных точках трассы снимают поперечные профили, на которых впоследствии вычерчивают поперечники земляного полотна для уточнения положения проектной линии и определения объемов земляных работ.

Поперечные профили на горных склонах обычно снимают ватерпасовкой. На обрывистых скальных склонах, где ватерпас применить невозможно, съемку ведут с помощью теодолита засечками характерных точек склона местности. При этом, однако, нельзя получить подробную характеристику склона. Более успешно съемку поперечных профилей можно выполнить при помощи фототеодолитной наземной стереоскопической съемки.

Переходные участки от долинных трасс к перевальным высокогорным участкам характеризуются большими продольными уклонами местности, превышающими допустимый на дороге.

Для возможности проложения трассы приходится искусственно увеличивать ее длину (развивать трассу) заходами в боковые долины. В отличие от проектирования долинной трассы на участках развития дороги прокладывают с продольными уклонами, близкими к максимальным, используя каждую возможность набора высоты. Применяются и более сложные способы развития трассы, как, например, проложение трассы дороги по спирали с тоннелями и эстакадами.

Развитие трассы по склону зигзагами влечет за собой наличие большого числа кривых малого радиуса, а также проектирование серпантинов. Также перевальные участки характеризуются большим объемом скальных работ и устройством снегозащитных галерей и тоннелей.

На перевальных участках особенно сильно проявляются климатические особенности высокогорных районов. Перед началом проектирования должны быть установлены уровни и сроки опускания ледников и снеговой линии, места устойчивых туманов и другие характеристики, позволяющие наметить целесообразную высоту расположения тоннельных вариантов, а также оценить транспортные качества будущей дороги с учетом особенностей работы автомобильных двигателей в высокогорных условиях.

Для пересечения горных хребтов выбирают перевалы с наименьшей высотой, расположенные близко к заданному направлению трассы и имеющие удобные подходы, позволяющие развить трассу. Основная особенность

перевальных ходов - необходимость искусственного удлинения («развития») трассы, вызванная тем, что уклон местности по прямому направлению обычно превышает заданный предельный уклон. Линию развивают, ориентируясь не на предельный, а на несколько меньший уклон, который называется руководящим. Его принимают на 10-15% меньше предельного, учитывая неизбежность последующего сокращения длины трассы при окончательном трассировании из-за спрямления мелких переломов в плане, вписывания кривых в углы поворота и уменьшения продольных уклонов на кривых малого радиуса. Чем сложнее рельеф горного склона и выше требования к плавности трассы, тем больше следует снижать значение заданного уклона.

Трассирование дороги на перевальных участках ведут от перевала к долине. На верхней части склона при сильно изрезанном рельефе иногда приходится в верхней части склона между перевалом и вершиной долины трассу развивать зигзагами, прокладывая ее максимально допустимыми уклонами. В связи со сложностью работ в горной местности целесообразно вначале выбрать трассу по материалам аэрофотосъемки или по крупномасштабным планам в горизонталях.

Во многих случаях место для развития трассы на крутом косогоре очень ограничено и трассу приходится проглаживать зигзагами. В горных дорогах трассу дороги удлиняют, проектируя серпантины.

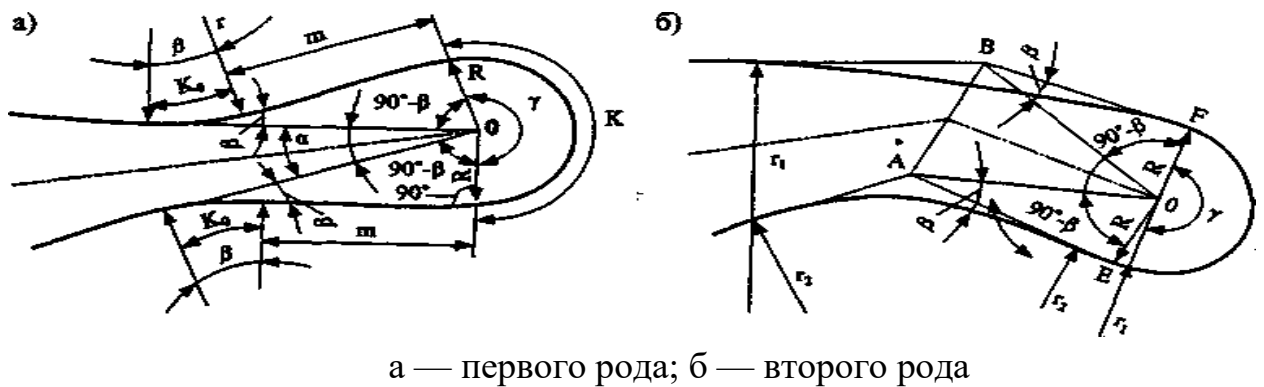
Серпантины – это участки трассы, на которых резко (до 180°) изменяется ее направление с размещением кривых не внутри, а снаружи угла поворота. Трассирование дороги по серпантинам позволяет уменьшить продольные уклоны дороги и земляные работы.

Серпантина состоит из нескольких элементов: основной кривой, обратных кривых и вставок. Для устройства серпантины выбирают наиболее пологий геологический устойчивый участок косогора. Проектирование серпантин заключается в установлении величин отдельных элементов для ее разбивки и проверки возможности размещения земляного полотна на местности.

Серпантины характерны применением малых радиусов кривых и большим углом поворота трассы, вызывающих значительное снижение скоростей и безопасности движения. Кроме этого, при устройстве серпантин значительно увеличиваются объем и стоимость строительных работ и, как правило, увеличивается длина трассы. Поэтому всегда предпочтительнее вариант трассы, имеющий меньшее количество серпантин при прочих равных условиях.

Серпантины бывают двух основных видов (рис. 12.11.1):
-серпантины 1-го рода, у которых вспомогательные кривые расположены выпуклостями в разные стороны. Они могут быть симметричными (радиусы

обратных кривых равны и длина прямых вставок одинакова, центр окружности основной кривой в вершине угла серпантин) и не симметричными (центр основной кривой вне биссектрисы, центр окружности может располагаться в любой из четырех четвертей прямоугольной системы координат). -серпантины 2-го рода, у которых обратные кривые обращены в одну сторону. Они могут быть полные (центр основной кривой может занимать любое положение относительно вершины угла поворота) и полусерпантины (центр основной кривой расположен на линии, перпендикулярной к одной из сторон угла поворота).



а — первого рода; б — второго рода

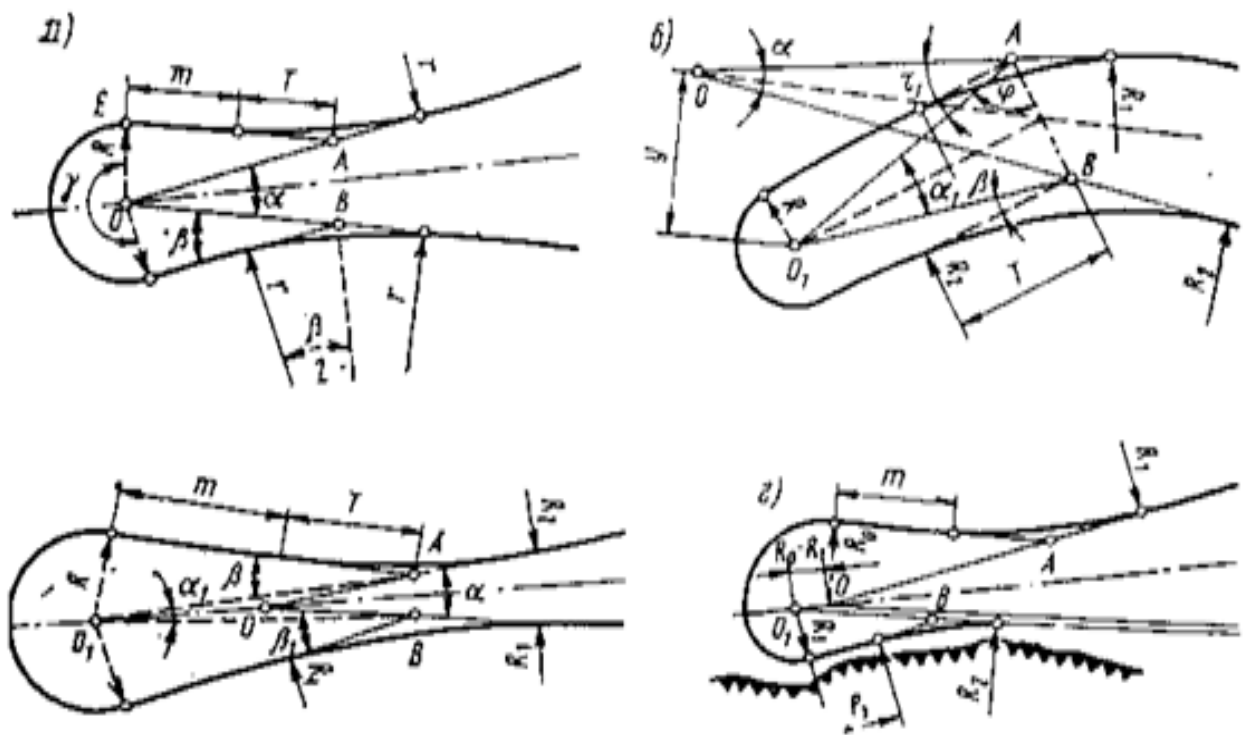
Рис. 12.1.1. План трассы серпантины

Основные элементы серпантин:

- угол серпантины
- радиус основной кривой
- радиусы вспомогательных (обратных) кривых
- угол поворота обратных кривых
- прямая вставка
- тангенс обратной кривой
- горловина серпантины (расстояние между вершинами обратных кривых серпантины определяется условиями размещения полотна)
- центр окружности основной кривой
- основная кривая-центральный угол

При проектировании серпантин внимание уделяют обеспечению устойчивости земляного полотна, нормальных условий движения автомобилей и наименьшего объема земляных работ. Очертания серпантины необходимо приспособлять к рельефу местности. Геометрические элементы серпантины назначают в зависимости от принятой скорости и интенсивности движения.

Разновидности серпантины представлены на рис.12.1.2.



а - первого рода; б - второго рода; в - первого рода со смещенным центром основной кривой; г - несимметричная первого рода

Рис. 12.1.2. Разновидности серпантины

12.1.2. Профили горных дорог

Земляное полотно горных дорог на большей части их протяжения сооружают на косогорах. Для обеспечения устойчивости насыпи от сползания по косогору при поперечном уклоне местности более 1:5 после удаления дерна делают уступы шириной 1—4 м, которым придают поперечный уклон в низовую сторону 10—20 % (рис. 12.1.3). Откосам насыпей и выемок земляного полотна горных дорог придают заложения в соответствии с прочностью горных пород. В изверженных скальных породах откосы выемок назначают близкими к вертикальным. В осадочных породах допускаемая крутизна откоса зависит от направления и угла падения пластов. При изменении вида и строения пород по глубине крутизну откоса назначают переменной.

Если откосы обладают прочностью, обеспечивающей устойчивость при большой крутизне заложения, но подвержены выветриванию, у их подошвы устраивают закуветные полки шириной до 2,0 м, предназначенные для накапливания продуктов выветривания, которые периодически удаляются в процессе эксплуатации дороги.

Для назначения правильной величины заложения откосов выемок особое значение имеют данные инженерно-геологических изысканий и наблюдений за состоянием естественных обнажений и откосов на существующих дорогах, а также данные о предполагаемом способе производства работ в скальных породах.

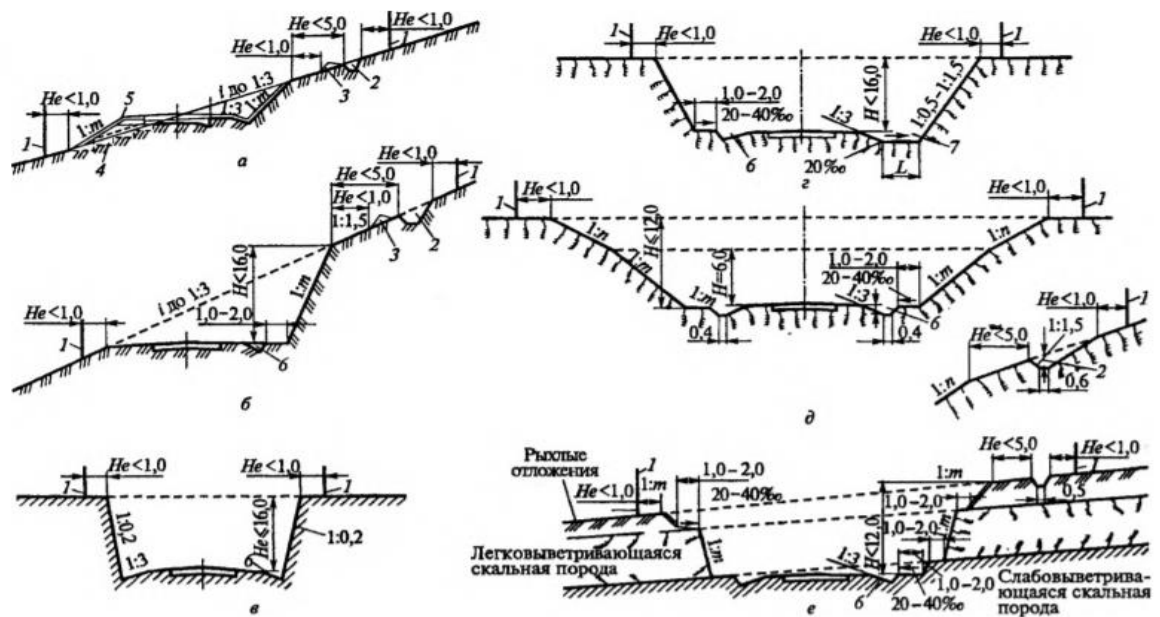


Рис. 12.1.3. Типовые поперечные профили горных дорог

Кюветы в скальных грунтах делают треугольного сечения с заложением внутреннего откоса 1:3 (рис.12.1.4).

Глубину и ширину кюветов определяют гидравлическими расчетами. При расположении дороги на косогоре в полувыемки-полунасыпи с поперечной компенсацией объемов работ теоретически обеспечивается минимум объемов земляных работ. Однако при возведении насыпной части земляного полотна теряются большие объемы грунта, скатывающиеся вниз по крутым склонам. Разделка склона ступенями не всегда обеспечивает необходимую устойчивость насыпной части земляного полотна.

В результате неравномерных осадок в покрытии часто появляются продольные трещины, а в сейсмических районах при землетрясениях насыпная часть земляного полотна вообще может сползти вниз по склону. Поэтому в настоящее время при строительстве горных дорог отказываются от конструкции земляного.

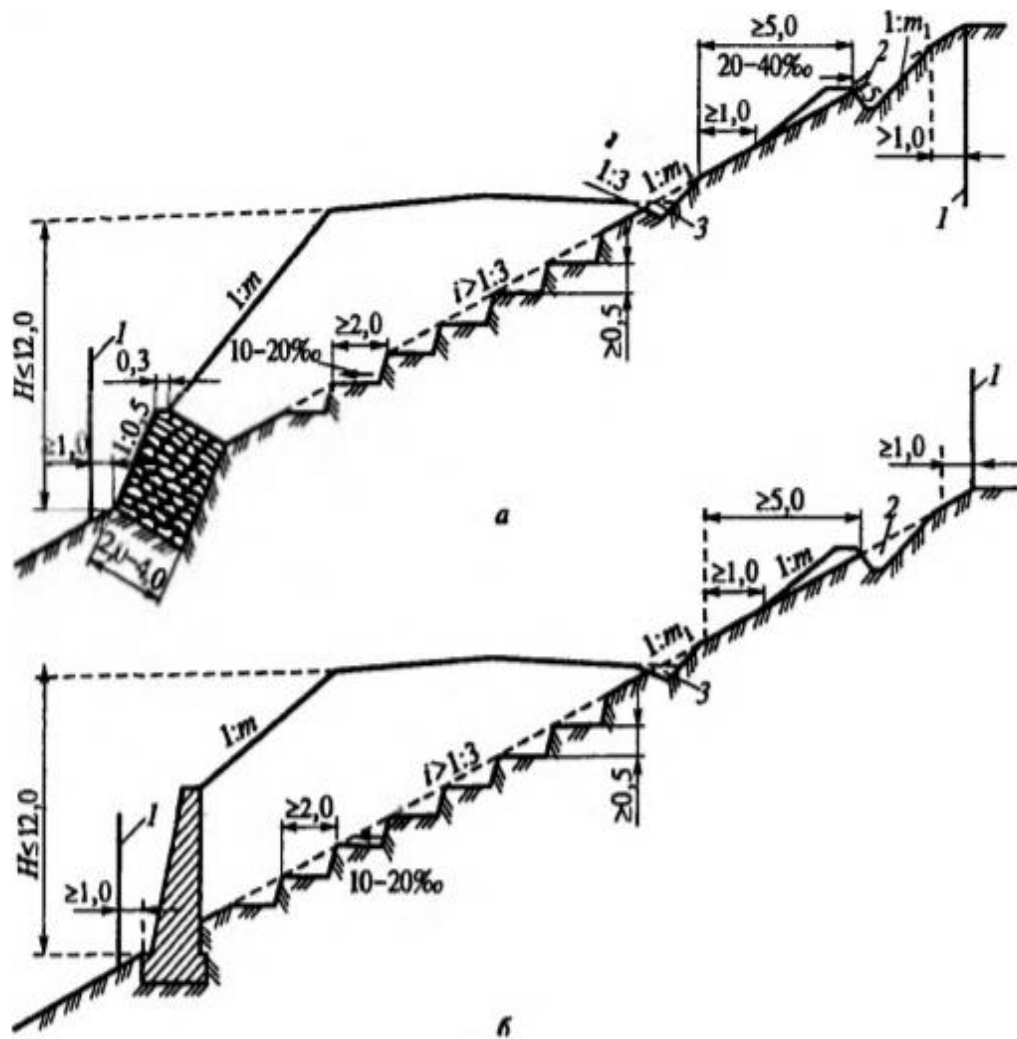


Рис. 12.1.4. Типовые поперечные профили кюветов

Полотна по типу полувыемки-полунасыпи, а полностью размещают земляное полотно в открытой с одной стороны выемке — в полке. Поперечный профиль в полке, несмотря на некоторое увеличение объемов земляных работ, обеспечивает полную устойчивость земляного полотна дорог на горных склонах.

На крутых склонах при устройстве насыпей объемы земляных работ существенно возрастают, так как внешние откосы располагаются под небольшим углом к склону. Поэтому на косогорах с уклоном 1:3 и круче прибегают к устройству с низовой стороны капитальных подпорных стен или банкетов из сухой кладки.

Банкет сооружают из камней не выветривающихся пород размером до 0,4 м.

Подпорные стенki делают из бутовой кладки, бетона или железобетона. Размеры их определяют расчетом.

12.1.3. Проложение дороги по участкам осыпей и камнепадов

При трассировании дороги по долинам горных рек иногда приходится пересекать осыпи — отложения мелкообломочных продуктов распада сильно подверженных выветриванию горных пород на крутых склонах. Осыпи скапливаются у подошвы склонов в виде валов или конусов, состоящих из природного щебня с небольшой примесью грунтовых частиц. В верхней части в зависимости от крупности частиц и их петрографического состава осыпи имеют крутизну до 40—45°, соответствующую углу естественного откоса материала осыпи в водоиасыщенном состоянии. В нижней части (шлейф осыпи) осыпь более полого.

В зависимости от интенсивности поступления материала различают осыпи действующие, рост которых продолжается, затухающие и затухшие. Затухшие осыпи зарастают травой, кустарниками и деревьями. Материал осыпей, даже заросших находится в состоянии неустойчивого равновесия. Подрезка нижней части осыпи выемкой, сейсмические толчки, перегрузка построенной насыпью могут вновь активизировать осыпь и привести ее в движение.

При трассировании дороги подвижные осыпи следует обходить; если это невозможно, необходимо предусмотреть мероприятия для обеспечения устойчивости земляного полотна. Осыпи с коэффициентами подвижности менее 0,5 могут быть использованы для размещения земляного полотна в насыпях без дополнительных сооружений.

Спускающиеся в реку шлейфы осыпей, сложенных из крупнообломочного, хорошо фильтрующего материала, можно пересекать дорогой. Если осыпь закрепилась и на ее поверхности сформировался слой почвы, покрывшийся растительностью, дорогу

проектируют обычным методом, прокладывая в насыпях. При действующей осыпи, когда происходит накопление отложений, перед дорогой возводят улавливающую стенку для задерживания и накапливания осыпающихся обломков. Стенки устраивают из сухой кладки высотой 1,5—2 м, шириной 0,8—1 м при глубине заложения не менее 0,5 м.

При малом поступлении материала осыпи стенку периодически наращивают и строят дополнительные на массиве осыпи.

Многие участки горных дорог подвержены обвалам — внезапному обрушению с крутых склонов гор обломков горной породы. Причиной обвалов является чрезмерная крутизна склонов, на которых не могут удержаться обломки, потерявшие связь с основным массивом. Обвалам способствуют: разрушение горных пород процессами выветривания, подрезка наклонных пла-

стов при устройстве земляного полотна, трещиноватость горных пород как естественная из-за тектонических нарушений, так и вызванная применением при строительстве массовых взрывов, расширение воды при замерзании в трещинах горных пород, сейсмические толчки и др.

Для оценки обвалов используют измерение объема обвалившихся горных пород.

Исходя из этого объема, обвалы условно подразделяются на

- 1) очень малые (объем менее 5 куб. м);
- 2) малые (5-50 куб. м);
- 3) средние (50-1000 куб. м);
- 4) крупные (более 1000 куб. м).

По составу пород различают обвалы скальные, или каменные, земляные и смешанные, а по объёму обрушений — обвалы крупные (сотни или тысячи м³), малые (до 200 м³) и камнепады (падение и скатывание отдельных камней).

Участки обвалов при изысканиях всегда целесообразно обходить. При невозможности этого за такими участками в процессе эксплуатации дороги должен осуществляться непрерывный контроль.

Рабочие-верхолазы должны регулярно осматривать откосы и сбрасывать в периоды отсутствия движения крупные камни, начинающие терять устойчивость.

Мероприятия направлены на укрепление скального массива. С этой целью обычно используют метод анкерирования. Такое же назначение имеют покрытия склонов из набрызг- или торкрет-бетона, одновременно защищающие породы, обнажающиеся на склоне, от выветривания.

Для улавливания отдельных падающих камней применяются специальные сети.

Для защиты шоссейных и железных дорог от обвалов наиболее эффективны канавы, валы, ограждающие стенки, лесопосадки

На участках, где обвалы и камнепады особенно вероятны, для защиты от падения мелких камней около дороги устанавливают на склонах металлические удерживающие решетчатые щиты или завешивают откос сеткой из толстой проволоки ($L = 3$ мм) с ячейкой 6x5 см.

На дорогах с интенсивным движением на участках с камнепадами в некоторых случаях приходится строить защитные галереи.