

Проектирование дорог в заболоченных районах.

Болотами называют избыточно увлажненные участки земной поверхности, на которых большую часть года застаивается вода. Остатки влаголюбивой болотной растительности, подвергшиеся неполному разложению при затруднительном доступе воздуха и большой влажности, образуют отложения торфа. Участки, на которых застаиваются поверхностные воды или происходит их систематическое переувлажнение грунтовыми водами, однако торфяной покров отсутствует или имеет толщину менее 30 см, называют заболоченными. По условиям расположения и питания водой **различают верховые и низинные болота**. Верховые образуются при застое атмосферных осадков на водораздельных участках, имеющих малые уклоны. Они на всю толщину состоят из торфа. В процессе образования верховые и низовые болота проходят несколько стадий. **Образование верховых болот** начинается с появления в густом лесу, на лесных пожарищах и на лугах мха «кукушкин лен», удерживающего в себе воду. Начинается торфообразовательный процесс. По мере зарастания и утолщения слоя торфа поверхность болота повышается. Водный баланс поверхностных слоев изменяется и происходит постепенная смена растительности на все более и более влаголюбивую. В нижних слоях торфа условия жизни деревьев ухудшаются. Деревья начинают угнетаться и гибнуть; последними исчезают береза и сосна. Заключительной фазой образования верхового болота является появление белого мха — сфагнума, который обладает чрезвычайно большой водоудерживающей способностью и быстро растет, питаясь атмосферной влагой. Нижние слои сфагнума отмирают, образуя сфагновый торф. Середина большого сфагнового болота может возвышаться над краями на 6—8 м. Болото в этой стадии называется моховым. В дальнейшем на верховых болотах могут возникать застои воды — мочажины.

Низинные болота образуются в результате зарастания водоемов. Заболачивание идет от берегов к середине. У берегов появляются осока, тростники, камыши; на больших глубинах плавающая растительность (кувшинки, аир). Их отмирающие остатки повышают дно водоема и постепенно растительность продвигается к его середине. Дно также повышается за счет образования ила — оседающих глинистых частиц, образующих пористые водонасыщенные отложения, а также сапропеля — отложений, образующихся в водоемах преимущественно из остатков обитающих в них микроскопических животных, растений и продуктов их жизнедеятельности. В середине водоема появляются плавающие растения, (кувшинки, ряска, аир), постепенно затягивающая всю поверхность сплошным зыбким ковром — сплавинной, образованной их корневищами и мхами. Сплавина постепенно утолщается за счет нарастания растений. Со временем на сплавине появляются травянистая растительность и кустарники. Над ключами и глубокими местами водоемов часто остаются «окна» — незаросшие участки водной поверхности. Сплавина толщиной 3—4 м может выдержать нагрузку до 35 МПа. В связи с последовательной сменой в процессе роста болота растений-торфообразователей торфяные напластования обычно имеют слоистое строение.

Торф обладает большой влагоемкостью и может удерживать воды в 10—20 раз больше своей массы в воздушно-сухом состоянии. Влагоемкость торфа зависит от степени разложенности, т. е. от степени превращения растительных остатков в бесструктурную гумусовую массу. Сильно разложившийся торф не содержит заметных на глаз растительных остатков. Сжатый в руке он хорошо продавливается между пальцами, не выделяя воды. **В торфе всегда содержатся минеральные частицы, количество которых определяет его зольность.** На низовых болотах зольность достигает 12—15%. Плотность торфов зависит от степени разложенности и уплотнения. Мало разложившиеся торфы имеют плотность 0,6—0,7 т/м³, сильно разложившиеся — 1,1 т/м³. Водопроницаемость уменьшается по мере разложения торфа. Хорошо разложившийся плотный торф практически водонепроницаем.

Проектирование дорог в болотистых районах требует весьма внимательного предварительного изучения и исследования болота.

Важное значение для проектирования земляного полотна автомобильных дорог имеет строение болота в вертикальном разрезе, отражающее условия его формирования и соотношение прочности отдельных его слоев.

Проложение трассы в болотистых районах

Строительство дорог через болота обходится значительно дороже, чем в обычных условиях. Поэтому всегда целесообразно обходить болота, если это не вызывает значительного удлинения и извилистости дороги. Болота следует стремиться пересекать в наиболее узком и мелком месте. При пересечении сплавинных болот следует избегать проложения трассы в местах, где дно водоема имеет большие поперечные уклоны, по которым возможно сползание земляного полотна. Точно соблюсти эти рекомендации не всегда удается. Часто в наиболее узком месте болото имеет большую глубину. Поэтому всегда следует намечать несколько вариантов трассы, из которых лучший выбирают на основе технико-экономического сравнения. Необходимо внимательно изучить гидрологический режим болот, пересекаемых дорогами, и предусмотреть его стабильность. При этом следует учитывать, что насыпь, прорезающая торф или уплотняющая его своим весом, создает препятствие проходу воды, может вызвать застой воды с верховой стороны и активизировать процессы заболачивания.

Трассу намечают на основе детального изучения карт крупного масштаба в горизонталях с последующим осмотром на местности назначенных вариантов.

Известное представление о типе болота, стадии его развития и возможной глубине. можно составить при изысканиях на основе визуального осмотра по типам растительности.

Пока болото питается грунтовыми водами, на нем развиваются болотные травы, преимущественно осоки, тростник, камыш, кустарники и зеленые мхи. Карликовые чахлые сосны, багульник и сфагнум указывают на то, **что болото верховое** и находится в последней стадии своего развития, в связи с чем можно предполагать значительную толщину торфа.

Смешанный

лес (березы, сосны, сосны) возникает при сравнительно небольшой мощности торфа

Болота без кустарника и леса, но покрытые бурыми мхами, имеют большую глубину, чем болота травяные, поросшие осокой и тростником. **На сплавинных** болотах большая толщина сплавины наблюдается на участках, защищенных от действия господствующих ветров. Обычно за выступающими над поверхностью болота островами минерального грунта ниже их по течению располагаются участки болот со слабой несущей способностью сплавины.

Для полного представления об условиях проложения трассы и выбора лучшего ее направления должен быть снят план болота в горизонталях с изолиниями мощности слоев слабых грунтов. Масштаб плана и высоту сечений горизонталей назначают в зависимости от размеров болота и ширины заснятой полосы обычно в масштабе 1:1000—1:2000 с сечением горизонталей 0,25—0,5 м.

На участках пересечения болот, первоначально намечаемых по картам в горизонталях, должны быть сняты план, продольные и поперечные профили, а также проведены зондирование, бурение, отбор и изучение образцов торфа.

По намеченным вариантам пересечения болота разбивают пикетаж и намечают сетку скважин со стороной 50 – 150 м в зависимости от размеров болота. Сетка охватывает полосу примерно 150 м в каждую сторону от оси варианта. Трассу и сетку скважин нивелируют, и проводят зондировочное бурение бурами геолога или торфяными бурами, заглубляясь в минеральный грунт не менее 0,5 м. Пробы для установления наименования грунта и первоначальной визуальной оценки их механических свойств отбирают через 0,5 – 1 м. По той же сетке скважин выполняют статическое зондирование толщин вдавливанием зондов с конусным наконечником. Результаты зондирования дают возможность уточнить границы распространения слабых грунтов. В результате зондировки должны быть собраны все данные, характеризующие происхождение болота, состав торфа и условия его залегания, состав грунтов минерального дна, гидрологический режим болота, наличие поблизости от места перехода грунтов, пригодных для отсыпки насыпей, в первую очередь фильтрующих (песчаных, гравелистых).

Если предварительный осмотр образцов грунта указывает на возможность оставления их под насыпью, бурят дополнительно скважины по уточненным вариантам трассы через 25 – 50 м,

При нивелировании болот из-за мягкости и зыбкости торфа возможны ошибки. Для установки нивелира иногда в торф забивают колья диаметром 5—8 см и длиной 50—70 см, имеющие зарубки для повышения сцепления с торфом.

Особенно целесообразны при работе на болотах нивелиры с самоустанавливающейся горизонтальной линией визирования. На сплавинных глубоких болотах с малой толщиной сплавин

изыскания иногда приходится проводить зимой, после того как поверхность болота замерзает и приобретает необходимую прочность.

Реперы на участках перехода болот закладывают на возвышенных местах и на берегах болот — в плотном минеральном грунте, где исключается возможность его осадки или смещения.

инженерная классификация болот, принятая при проектировании и строительстве автомобильных дорог (СНиП 2.05.02-85*)

Классификация болот	Характерный тип болота	Работа основания под насыпью	
Тип	Подтип		
I	a	Заполненное болотными грунтами, перекрытыми слоем наносного грунта	Преимущественное сжатие без бокового выдавливания под насыпями высотой д 3 м
	б	Сплошь заполненное болотными грунтами	
II	a	Слой торфа, подстилаемый слоем сапропеля, мергеля или ила и перекрытый наносным грунтом	Содержит хотя бы один слой слабого грунта, который выдавливается при быстром возведении насыпи высотой до 3 м, но уплотняется при медленном возведении насыпи
б	То же, без наносного		

Конструкции земляного полотна

Конструкции земляного полотна на болотах выбирают с учетом строения болот, мощности и свойств отдельных слоев торфа. В ряде случаев для этого необходимы предварительные расчеты устойчивости.

Земляное полотно на болотах **проектируют в насыпях** в соответствии с требованиями к возвышению бровки земляного полотна в местах с длительным стоянием поверхностных вод (СНиП 2.05.02-85* табл.21).

Поверхность болота обычно имеет весьма малый уклон. Поэтому проектную линию, кроме участков на подходах к мостам, проектируют горизонтальной или с малыми продольными уклонами.

Конструкции земляного полотна назначают в зависимости от категории дороги, глубины болота, его плотности торфа, а также степени сжатия торфа, устройства основания на прочном минеральном дне болота. Их строят на дорогах с капитальными и усовершенствованными облегченными покрытиями на болотах глубиной до 2 м. Крутизну откосов земляного полотна ниже поверхности болота назначают в зависимости от плотности торфа от 1:0,5 до вертикальных, учитывая, что при мягком, легко деформирующемся торфе, возможны деформации земляного полотна при оползании крутых откосов. На дорогах с переходными и низшими типами покрытий на болотах с устойчивыми торфами можно возводить земляное полотно с **использованием несущей способности торфа с частичным выторфовыванием или без выторфовывания**.

Для предотвращения перемешивания грунта насыпи с грунтом слабого водонасыщенного основания и большей равномерности осадки насыпи с успехом применяют для устройства разделительной прослойки геотекстиль, концы которого заводят в тело насыпи.

Оставляемый под насыпями торф при нагрузках от автомобилей испытывает упругое сжатие, которое после их прохода восстанавливается. Чтобы происходящее при этом колебание дорожной одежды не достигало опасного для её прочности значения, толщину слоя торфа, оставленного под насыпью, ограничивают.

При толщине слоя торфа 1 м толщина насыпного слоя грунта должна быть менее 2 м для капитальных, 1,2 м для переходных типов дорожных одежд. При 4-метровой толщине торфа толщина грунта должна составлять соответственно 3 и 2 м, а при 6-метровом слое 3 и 2,5 м.

Осадка земляного полотна на торфяном основании может затягиваться на несколько лет. Наиболее эффективным методом ускорения осадки в торфах или сильно сжимаемых грунтах является устройство вертикальных дрен из песка, картона или лент геотекстиля с продольными капиллярами. Дрены размещают по расчету через 3—5 м. Действие вертикальных дрен основано на сокращении пути фильтрации воды, выжимаемой из основания.

На болотах глубиной до 4 м с торфом, который может некоторое время держаться вертикальным откосом, находят применение конструкции земляного полотна с продольными прорезями через 1,5 – 3, м в торфе, заполненными песком, с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут. Зажатый между такими продольками торф превращается в устойчивую и плотную массу. Если коэффициент устойчивости недостаточен, предусматривают меры по его повышению путем устройства пригрузочных берм, предварительного осушения основания, частичного выторфовывания и других мероприятий, указанных ранее.

На болотах с торфяной коркой, подстилаемой жидким торфом или сапропелем, а также на болотах сплавинного типа насыпи возводят с погружением на минеральное дно болота после удаления верхнего слоя торфа.

Возможна отсыпка насыпи с погружением прочной сплавин на дно.

Глубокие болота иногда бывает целесообразно пересекать железобетонными эстакадами, что в отдельных случаях даёт возможность значительно сократить сроки строительства автомобильной дороги.

Дороги низших категорий можно строить непосредственно на поверхности торфяного слоя, а при достаточной его толщине и на сплавине. Для распределения веса на большую площадь поверхности болота и предотвращения сосредоточенного давления насыпь отсыпают на бревенчатые настилы.

При проложении трассы по болотам, дно которых имеет большой поперечный уклон, для предотвращения сползания насыпи, сопровождающегося обычно боковым выпиранием торфа, необходимо производить полное выторфовывание и выравнивание дна болота. При поперечном уклоне более 100‰ рекомендуется делать на дне болота уступы или взрыхлять его взрывами. Иногда с низовой стороны насыпи отсыпают каменную упорную призму — банкет, удерживающий насыпь от сползания.

Насыпи на болотах отсыпают из дренирующих грунтов. При отсутствии их в районе строительства или значительной дальности возки в насыпях разрешается использовать глинистые грунты при условии, что организация строительства обеспечивает их отсыпку в сухой котлован и уплотнение. На дорогах с переходными и низшими типами покрытия в нижнюю часть насыпей можно укладывать торф.

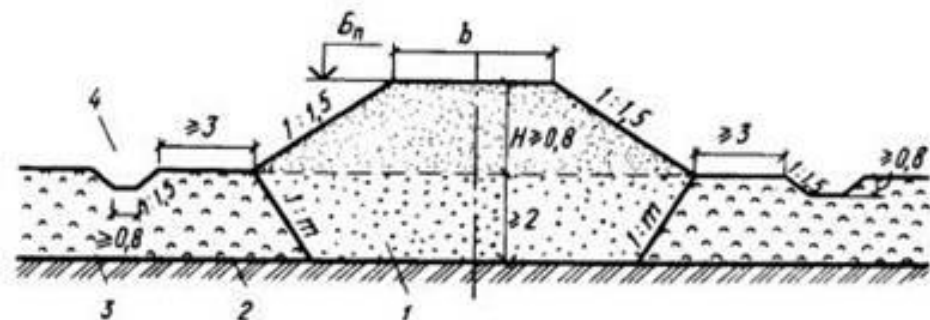
На участках пересечения болот для пропуска постоянных ручьев и поверхностных вод, а также для уравнивания горизонтов воды, накапливающейся с обеих сторон насыпи, должны быть построены искусственные сооружения..

При выборе типа искусственных сооружений на болотах предпочтение отдают **мостам**. Целесообразно искусственные сооружения располагать у края болота, что уменьшает и упрощает работы по устройству опор и возведению насыпи на подходах. Для воды прорывают подходные русла.

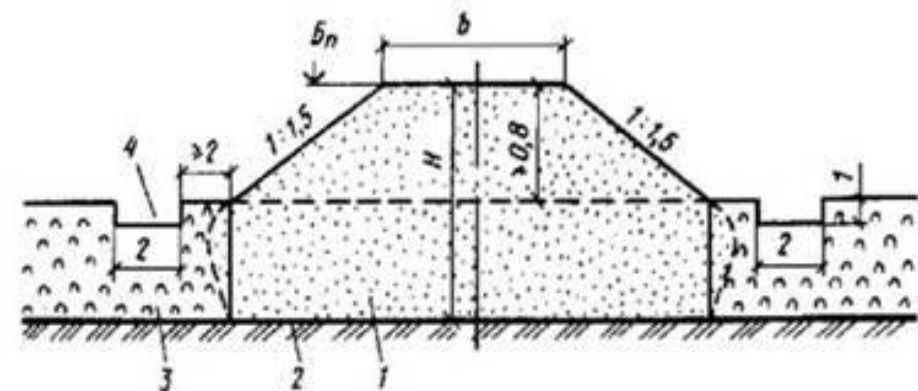
Если дорога пересекает сплавинное болото, в котором имеется течение воды, размеры искусственного сооружения назначают в зависимости от глубины и скорости потока. При малых расходах можно устраивать фильтрующие насыпи.

Насыпи на подходах возводят после постройки мостов. Если минеральное дно болота имеет уклон к мосту, торф в пределах моста полностью удаляют, заменяя его минеральным грунтом во избежание продольного сползания насыпи и выжимания торфа под мостом.

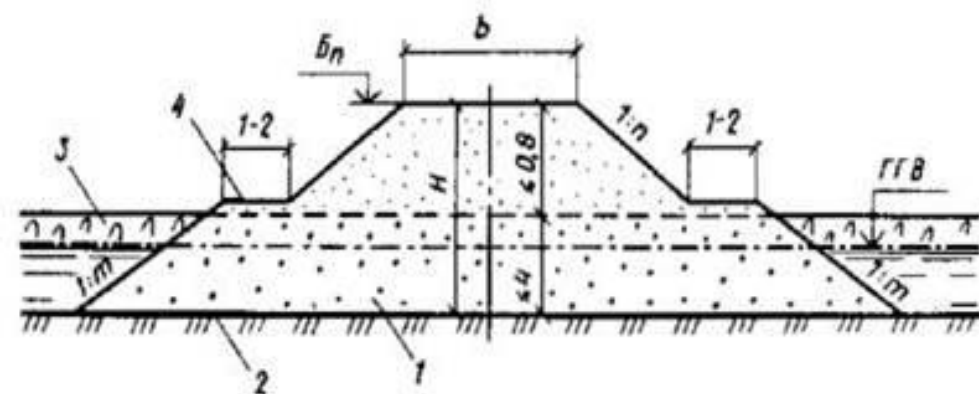
Насыпи на болотах с полным удалением торфа и с посадкой их на минеральное дно.



Конструкция насыпи высотой до 3 м на болоте I типа, глубиной до 2 м, из дренирующих грунтов: 1 - дренирующий грунт; 2 - минеральное дно болота; 3 - торф; 4 - канава; H - высота насыпи



Конструкция насыпи на болоте II типа из дренирующих грунтов: 1 - дренирующий грунт; 2 - минеральное дно болота; 3 - торф; 4 - канава; H - высота насыпи



Конструкция насыпи на болоте III типа со славвиной, глубиной более 4 м, из дренирующих грунтов высотой более 0,8 м: 1 - дренирующий грунт; 2 - минеральное дно болота; 3 - славвина из торфа; 4 - берма; H - высота насыпи

Насыпи с частичным удалением торфа

Конструкции насыпей высотой более 3 м на болоте I типа с толщиной торфа более 4 м: а - из дренирующих грунтов; б - из песка мелкого и супеси пылеватой; 1 - поверхность болота; 2 - поверхность минерального дна болота; 3 - торф; 4 - канава; 5 - дренирующий грунт; 6 - песок мелкий пылеватый; 7 - супесь пылеватая; S - осадка основания насыпи; H_p - расчетная высота насыпи; h - толщина слоя торфа под насыпью

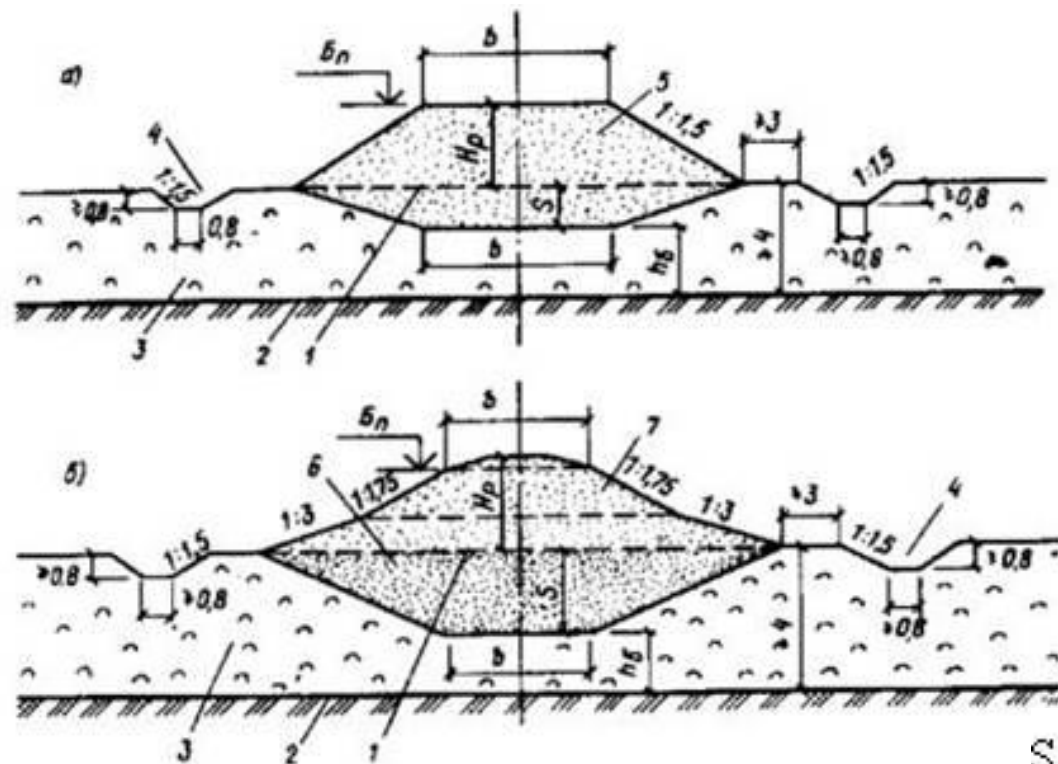
$$S = \frac{H}{\frac{E_{\text{ф}}}{\rho_{\text{н}} H h_{\text{б}}}},$$

Осадку основания насыпи рассчитывают по формуле:

где H - высота насыпи; $\rho_{\text{н}}$ - плотность грунта насыпи, г/см³; $h_{\text{б}}$ - суммарная мощность сжимаемых слоев болотных отложений; $E_{\text{ср}}$ - средний модуль деформации сжимаемых слоев, кПа, определяемый по формуле:

$$E_{\text{ф}} = \frac{h_{\text{б}}}{\sum H_i / E_i}$$

где H_i - мощность отдельных слоев торфа, ила, см; E_i - модуль деформации отдельных слоев торфа, устанавливаемый в зависимости от показателей состава и состояния торфяных отложений.



Оценка устойчивости основания насыпи

Оценка устойчивости основания выполняется с целью определения возможности бокового выпирания слабого грунта основания под воздействием нагрузки от веса насыпи.

В зависимости от результатов оценки устойчивость основания в его природном состоянии относят к одному из трех типов:

I - основания, не требующие специальных мер по обеспечению устойчивости;

II - основания, для обеспечения устойчивости которых достаточно ограничить режим отсыпки насыпи;

III - основания, требующие применения специальных мероприятий для обеспечения их устойчивости (исключение бокового выпирания слабых грунтов). -

Возможность обеспечения устойчивости оснований II типа обусловлена способностью слабых грунтов уплотняться и упрочняться по мере постепенной передачи на них нагрузки и прохождения процесса консолидации. В связи с этим в общем случае оценка устойчивости основания должна выполняться для двух состояний:

- **для условий быстрой отсыпки насыпи (условно мгновенной)**, при которой грунт основания не успевает консолидироваться и повысить свою природную прочность; - безопасная нагрузка, отвечающая предельной величине внешней нагрузки на основание, вызывающей возникновение предельного состояния по сдвигу в наиболее опасной точке основания;

- **для условий медленной отсыпки насыпи**, при которой передача нагрузки осуществляется по мере увеличения прочности грунта в результате его консолидации под предыдущей ступенью нагружения. Достаточной устойчивости определяется через выражение коэффициента безопасности

$$K_{без} = \frac{P_{без}}{P_{расч}} \geq 1$$

$P_{без}$ - безопасная нагрузка, отвечающая предельной величине внешней нагрузки на основание, вызывающей возникновение предельного состояния по сдвигу в наиболее опасной точке основания.

$P_{расч}$ расчетная величина внешней нагрузки, определяемая для насыпи трапецеидальной формы.

В общем случае необходимо определить коэффициент безопасности для условий быстрой отсыпки насыпи ($K_{без}^{нач}$) для условий медленной отсыпки ($K_{без}^{кон}$).

Безопасная нагрузка для условий быстрой отсыпки насыпи определяется по формуле

$$P_{без}^{нач} = \left[\frac{(c_{нач} + \gamma_{ср} \cdot Z \cdot \operatorname{tg} \varphi_{нач})}{\beta} \right]_{\min}$$

где $c_{нач}$ и $\varphi_{нач}$ сцепление и угол внутреннего трения грунта слабой толщи при его природной плотности-влажности;

$\gamma_{ср}$ средневзвешенный удельный вес грунта слабой толщи (в необходимых случаях с учетом взвешивания), расположенной выше горизонта Z ;

Z - глубина рассматриваемого горизонта от поверхности земли;

- β для трапецеидальной эпюры нагрузки функция от $\varphi_{нач}$ формы эпюры нагрузки $\frac{2a}{B}$ и относительной глубины $\frac{Z}{b}$, устанавливаемая по графикам приложения 3 (В).

В случае, если соблюдается условие $K_{без}^{нач} = \frac{P_{без}^{нач}}{P_{расч}} \geq 1$

основание относят к I типу по устойчивости и никаких дополнительных проверок устойчивости не проводят.

В случае, если $K_{без}^{нач} < 1$ для отнесения ко II или III типу определяют безопасную нагрузку при медленной отсыпке насыпи по выражению

$$P_{без}^{кон} = \left[\frac{(c' + \gamma_{ср} \cdot Z \cdot \operatorname{tg} \varphi')}{\beta} \right]_{\min}$$

где c' и φ^1 - условные сцепление и угол внутреннего трения, получаемые при консолидированно-дренированных испытаниях на сдвиг;

β - та же функция, что и при расчете на быструю отсыпку, но принимаемая в зависимости от φ^1

Коэффициент безопасности при медленной отсыпке насыпи

$$K_{без}^{кон} = \frac{P_{без}^{кон}}{P_{расч}}$$

В случае, если $K_{без}^{кон} < 1$, основание должно быть отнесено к III типу. При одновременном соблюдении условий $K_{без}^{нач} < 1$ и $K_{без}^{кон} > 1$ основание относят ко II типу.

Расчетная нагрузка от насыпи трапецеидальной формы определяется по формуле

$$P_{расч} = \gamma_n (h_{расч} + S_{кон})$$

γ_n - удельный вес грунта насыпи; $S_{кон}$ - конечная осадка насыпи;

$h_{расч}$ - расчетная высота насыпи.

В зависимости от полученного коэффициента безопасности определяется: тип основания по степени устойчивости и необходимость дополнительных мероприятий для обеспечения устойчивости основания

Тип основания по коэффициенту безопасности

Тип основания	Определяющий признак	Характеристика степени устойчивости	Преобладающие деформации грунта наиболее опасного слоя	Возможность использования слабой толщи в качестве основания
1	2	3	4	5
I	* $K_{без}^{нач} \geq 1$	Устойчивость обеспечена при любой скорости отсыпки насыпи	Сжатие	Можно использовать в качестве основания
II	$K_{без}^{нач} < 1$ $K_{без}^{нач} \geq$	Устойчивость при быстрой отсыпке не обеспечена, но обеспечена при медленной отсыпке	При быстрой отсыпке - сдвиг (выдавливание), при медленной отсыпке - сжатие	Можно использовать в качестве основания при медленной отсыпке насыпи
III	$K_{без}^{нач} < 1$	Устойчивость не обеспечена ни при каких режимах отсыпки	Сдвиг (выдавливание)	Без конструктивных мероприятий в качестве основания использовать нельзя. Нужно удалить слабый слой или изменить конструкцию насыпи

Расчет величины конечной осадки

При обеспеченной устойчивости торфяного основания осадка его обусловлена сжатием слабого слоя торфа под действием внешних сил. Практически всегда при использовании торфа в основании насыпи осадка его под нагрузкой неизбежна и складывается из мгновенной упругой $S_{\text{мгн}}$; осадки за счет бокового смещения $S_{\text{бк}}$; длительной фильтрационной осадки $S_{\text{ф}}$ за счет отжатия поровой воды и осадки $S_{\text{вт}}$ за счет объемной ползучести скелета торфа:

$$S_0 = S_{\text{мг}} + S_{\text{бк}} + S_{\text{ф}} + S_{\text{вт}}$$

Обычно $S_{\text{мг}}$ и $S_{\text{бк}}$ протекают быстро и завершаются в период строительства земляного полотна, а $S_{\text{ф}}$ и $S_{\text{вт}}$ — длительно. Поэтому при прогнозе осадки решаются две самостоятельные, но взаимосвязанные задачи: определение конечной осадки S_0 и прогноз хода осадки во времени.

В общем случае конечная величина осадки определяется методом послойного суммирования деформаций:

$$S_0 = 0,001 \sum_1^i e_{pi} \cdot H_i,$$

H_i — мощность i — го слоя торфа, м

e_{pi} — модуль осадки торфа, этого слоя в вертикальном направлении мм/м, зависит от расчетной нагрузки, передаваемой на слой $f(P_i)$.

Величина модуля осадки определяется по компрессионной кривой в зависимости от расчетной нагрузки.

На первой стадии, когда еще отсутствуют данные испытаний,

e_{pi} можно принять ориентировочно по формуле: $e_{pi} = \frac{66 \sqrt{P_{pi}}}{70 \gamma_{\text{ск}} - 0,05}$ или по таблицам.

Обычно проблем с определением величины осадки не возникает. Можно пользоваться графиками ГипроТюменьнефтегаза из ВСН 26-90.

Надо помнить: **Точность величины конечной осадки – это точность подсчета объемов земляных работ.**

Прогноз хода осадки основания насыпи во времени

В результате прогноза осадки во времени слабого основания должно быть рассчитано время завершения требуемой степени консолидации грунтов выделенных слоев или время достижения требуемой интенсивности осадки в зависимости от типа дорожной одежды. Прогноз необходим для установления сроков строительства дорожной одежды.

В основе прогноза лежат решения теорий консолидации. Используют схему одномерного (компрессионного) сжатия не только для прогноза осадки, но и для прогноза консолидации. За критерий принимают достижение определенной степени консолидации.

Величина осадки на любой момент времени $S_t = S_0 \cdot \mu$

$$\mu = \frac{S_0 - S_{\text{доп}}}{S_0}$$

S_0 – конечная осадка

μ - коэффициент консолидации, по достижении которого можно укладывать дорожную одежду

$S_{\text{доп}}$ - допустимая величина деформаций в зависимости от типа покрытия

Строится график хода осадки во времени.
Практикой установлено и это отражено в нормативной литературе, на насыпях, в основании которых оставлен торф, покрытие капитального типа можно устраивать при достижении не менее 90% расчетной осадки, а усовершенствованные облегченные при 0,8.

Расчет времени консолидации торфяного основания сводится к прямому переходу от лабораторного испытания образцов ненарушенной структуры к реальному сплюсыванию слабого

Грунта $\frac{T}{t} = \left[\frac{H_{\Phi}}{h} \right]^2$,

$$T = t \cdot \left(\frac{H_{\Phi}}{h} \right)^2$$

Откуда

H_{Φ}

T – время консолидации основания мощностью

t – время консолидации образца торфа, толщиной h до расчетной степени консолидации

Конструктивно-технологические решения при сооружении земляного полотна на слабых грунтах

При проектировании насыпи на слабых грунтах по результатам выполненных прогнозов устойчивости и осадки слабого основания при необходимости прорабатываются варианты дополнительных мероприятий по обеспечению несущей способности слабых грунтов и ускорению их осадки

Наиболее оптимальный вариант технологических или конструктивных мероприятий принимается с учетом технико-экономического обоснования.

Пути ускорения осадки насыпи (технологические мероприятия)

- 1 - предварительная консолидация;
- 2 - временная пригрузка;
- 3 - снижение высоты насыпи;
- 4 - уположение откосов;
- 5 - свайная конструкция;
- 6 - частичная замена слабых грунтов;
- 7 - песчаные сваи-дрены;
- 8 - вертикальные дрены;
- 9 - насыпи из легких материалов;
- 10 - боковые пригрузочные призмы;
- 11 - распределительные плиты;
- 12 - предварительное осушение;
- 13 - дренажные прорезы;

Трассирование дорог в зоне оврагов

Образование оврагов, широко распространенных в степной и лесостепной зонах, является результатом водной эрозии — процесса размыва почв и рыхлых подстилающих их пород стекающими со склонов потоками воды от дождей и таяния снега.

Эрозионные процессы начинают проявляться при крутизне склона $0,5—2^\circ$, заметно усиливаются на склонах с уклоном $2 - 6^\circ$ и получают существенное развитие при крутизне $6—10^\circ$.

В процессе своего образования овраги проходят несколько закономерно сменяющихся стадий. На первой стадии размыва на крутом участке склона образуется промоина, или рытвина, треугольного поперечного сечения. Дно ее практически параллельно поверхности земли. На второй стадии происходит углубление рытвины с уменьшением продольного уклона дна. У вершины создается обрыв высотой $5—10$ м. Рытвина расширяется и становится в поперечном сечении трапецеидальной. К концу второй стадии в нижней части оврага вырабатывается плавный продольный профиль — транзитное русло, в пределах которого размыв уравнивается приносом грунта. У устья оврага, где вода, растекаясь, теряет скорость, откладывается конус выноса. На третьей стадии происходит дальнейший рост оврага по направлению к водоразделу и в результате подмывания и осыпания берегов расширяется его поперечное сечение.

Ежегодный прирост длины оврага может достигать $10 - 15$ м. По боковым тальвегам, по которым овраг протекает вода, в водосборных бассейнах, достигая крутого склона, вода поддается размыву, и тальвег, который его вершину водосборный бассейн не уменьшится вблизи от водораздела до такой степени, что размыв прекратится. В четвертой стадии глубинная эрозия и подмыв берегов постепенно затухают, овраг перестает расти. Склоны его принимают устойчивое очертание и зарастают травой. Овраг превращается в балку.

Наибольшую крутизну боковые склоны имеют у вершины. По мере приближения к устью склоны оврага в результате осыпания грунта становятся более пологими и покрываются почвенным слоем.

Площадь, занимаемая оврагами, во многих районах весьма значительна. Поэтому проектирование и строительство дорог в овражистых районах — частый случай в практической деятельности инженеров-дорожников.

Развитию эрозии в сильной степени способствует уничтожение деревьев и травяного покрова, предохраняющих почву от размыва и регулирующих водный режим. К быстрому росту овражной сети также приводит неправильное землепользование (распашка склонов балок, направление при пахоте борозд вниз по склону, пастьба скота на склонах, ведущая к уничтожению травяного покрова). Часто причиной возникновения оврагов становятся неправильно запроектированные и неукрепленные придорожные каналы.

Глубина и интенсивность развития оврага зависят от положения его базиса эрозии — горизонтальной поверхности, на уровне которой стекающие воды теряют свою размывающую силу

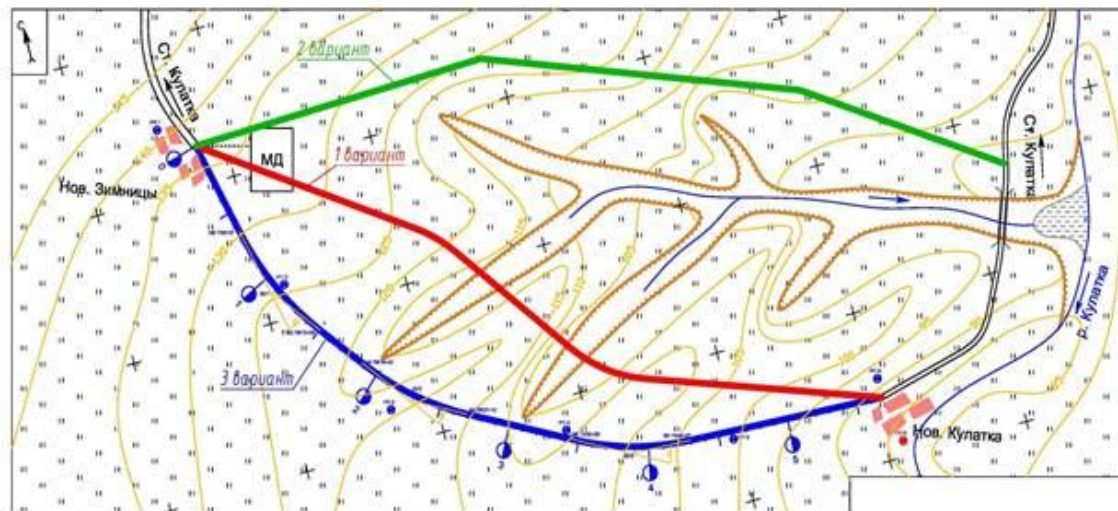
Для оврагов и балок, впадающих в реки, базисом эрозии служит уровень реки в месте впадения оврага или балки. В отдельных случаях глубина оврагов достигает нескольких десятков метров а длина 15 – 20 км. Овраги, развивающиеся в широтном направлении, имеют несимметричное поперечное сечение. Склоны южной экспозиции, хорошо прогреваемые солнцем, бывают обрывистыми и сильно размываются. Наоборот, склоны северной и восточной экспозиции- большей частью пологие, прикрытые почвенными горизонтами с менее интенсивно протекающим размывом. Выбор направления трассы дорог в овражистой местности в значительной степени определяется положением населенных пунктов, между которыми прокладывается дорога, и планом овражной сети.

В северных областях, где выпадает сравнительно большое количество осадков, населенные пункты располагаются преимущественно на сухих возвышенных местах и водоразделах. В степных и засушливых районах более заселены пониженные долинные участки. В этих случаях при продолжении трассы по водоразделам приходится обходить вершины оврагов, устраивать специальные подъезды к населенным пунктам.

Рациональное направление трассы выбирают в зависимости от конфигурации овражной сети и категории дороги. При развитой сети оврагов проложение дороги в обход оврагов снижает стоимость постройки, но приводит к большой извилистости трассы, перепробегу автомобилей. Поэтому, дороги высших категорий следует прокладывать, приближаясь к кратчайшему направлению, не допуская, конечно, излишних пересечений оврагов. Увеличение объемов земляных работ и числа искусственных сооружений оправдывается в этом случае значительным удешевлением стоимости проезжей части и сокращением дорожно-транспортных расходов.

При проектировании дорог низших категорий, особенно сельских, решающим фактором является стоимость строительства. В этом случае более выгодным оказывается вариант трассы, обходящей овраги, расположенные на расстоянии менее 50 м от оврага, обязательно предусматривая в проекте мероприятия по закреплению оврага.

Несмотря на то, что ширина оврага и необходимые размеры водопропускного сооружения уменьшаются по мере приближения трассы к вершине оврага, располагать трассу непосредственно вблизи вершины, в зоне размыва, нерационально, так как потребуются дополнительные работы по защите земляного полотна и сооружения от размыва.



Рассматривались три варианта трассирования автомобильной дороги.

1. пересекая два овражных отвершка
2. Обход оврагов слева с выходом на автомобильную дорогу
3. Обход оврагов справа с закреплением вершин отвершков от размывания.

При направлении трассы вдоль речной долины не следует прокладывать дорогу по конусам выноса пересекаемых оврагов, где обычно наблюдается блуждание русла водотока. При большой интенсивности отложения наносов отверстие искусственного сооружения может быть занесено. Наиболее целесообразно пересекать овраги выше конуса выноса в пределах транзитной зоны оврага. Однако, если мелких оврагов очень много, трассу, чтобы не удлинять, прокладывают по конусам выноса, предусматривая для упорядочения протекания воды устройство подходных русел и дамб, направляющих поток в отверстие моста и предохраняющих земляное полотно от размыва, а отверстие искусственного сооружения от засорения наносами. При пересечении широких и глубоких балок иногда приходится развивать трассу по их склонам для уменьшения объема земляных работ. Автомобильные магистрали с интенсивным движением пересекают глубокие долины и овраги большими виадуками в уровне их краев. Длина дороги сокращается, а автомобилям не приходится спускаться к расположенному на дне долины низкому мосту, а затем вновь подниматься вверх по склонам, совершая ненужную работу. В овражистых районах, для которых характерны продольные уклоны местности, особое внимание следует обращать на укрепление откосов земляного полотна, боковых и водоотводных канав. В пылеватых и суглинистых грунтах обычная канава при размыве может быстро превратиться в овраг, разрушающий дорогу.

Образование оврага связано с формированием стока к нему воды со всей поверхности питающего бассейна. Закрепление только вершины оврага не устраняет причин роста оврага и часто не обеспечивает защиту дороги от растущего оврага. Целесообразно проводить комплексную систему противоэрозионных мероприятий, распространяющуюся на весь водосборный бассейн и приводящую к активному замедлению и снижению стока, - противоэрозионную профилактику, агротехнические и агролесомелиоративные работы и строительство укрепительных сооружений.

Активные мероприятия по закреплению оврагов преследуют три цели: снижение и замедление притока воды к оврагу, укрепление вершины оврага и укрепление его русла.

Для уменьшения и замедления стока воды с площади водосборного бассейна наиболее целесообразны агротехнические мероприятия - распахивание почвы при подготовке к посевам сельскохозяйственных культур поперек склонов, полосное размещение сельскохозяйственных культур, создание травяного покрова на крутых склонах, выращивание полезащитных лесных полос.

Наиболее интенсивно размывается вершина оврага. Для замедления притока к вершине воды во время ливней на непосредственно прилегающей полосе иногда устраивают систему земляных валов, замедляющих сток, задерживающих его или распределяющих между несколькими руслами, отводя его к расположенным поблизости отверткам.

Для удержания притекающей воды на придорожной полосе иногда устраивают два-три водозадерживающих вала высотой от 1 до 2 м и шириной по гребню с от 0,5 (валы узкого профиля) до 2,5 м. Валы после уплотнения и осадки должны на 0,2—0,5 м возвышаться над уровнем воды, которая может за ними накопиться.

Валы располагают вдоль горизонталей, загибая их конечные участки вверх по склону. Трассируют валы по отрезкам прямых, гребень их должен быть горизонтален. Валы могут быть защитными (глухими), когда вода из прудка может уходить, только достигнув высоты гребня вала, и открытыми, когда в конце загибов устраивают пониженное место для слива воды. Расстояние между валами назначают в зависимости от крутизны местности из условия $L=h/i$, где L — расстояние между осями валов; h — высота вала; i — уклон местности.

Ближайший к вершине оврага водозадерживающий вал располагают обычно на расстоянии 10—15 м от вершины оврага, не ближе чем на две-три глубины оврага в вершине. Через каждые 100 м задерживающих валов делают поперечные валики, прерывающие течение воды вдоль вала. Может допускаться зарегулированный спуск части стока на укрепленный склон. Для этого в валах закладывают трубы, выходы из которых укрепляют для предотвращения размыва. Высоту валов и глубину канав назначают по расчету на полное удержание количества воды, собирающейся после таяния снега или выпадения ливня при 10%-ной обеспеченности.

Чтобы перехватить всю воду и направить ее в головное приемное сооружение, вблизи от вершины оврага устраивают направляющие водосборные валы высотой около 0,75 м. Наиболее сложно осуществляется укрепление головной части оврагов. Чтобы безопасно сбросить талые и ливневые воды на дно оврагов, строят специальные сооружения. Ими можно обеспечить сброс воды с бассейнов площадью до 15—20 га. Если рядом расположено несколько отвершков, сооружение строят на одном из них, подводя к нему воду от других отвершков укрепленными канавами. Головные сооружения устраивают в виде трубчатых железобетонных или асбоцементных водоспусков из труб диаметром 0,5—1,0 м, перепадов, водобойных колодцев и консольных водосборов (леек), предназначенных для спуска на дно оврага притекающей воды и гашения ее энергии.

Расчет их необходимо вести на пропуск расходов той же повторяемости, что и малых искусственных сооружений на дороге.

Для надежности работы головных сооружений в их конструкции должны быть предусмотрены эффективные меры против фильтрации воды вдоль сооружения и подмыва их снизу при размывании падающей водой дна оврага. В верховой части сооружений устраивают направляющие валы и противофильтрационные шпоры, заглубляемые в грунт, укрепляют подходное русло на большом расстоянии. В процессе эксплуатации за этими сооружениями необходимы повседневный надзор и своевременный ремонт. Несоблюдение этих требований приводит к неизбежному подмыву, а часто и к разрушению дорогостоящих сооружений.

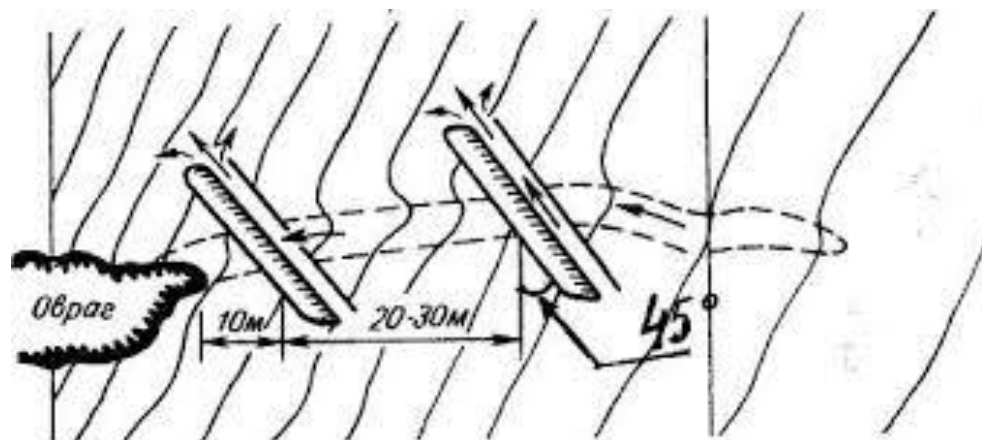
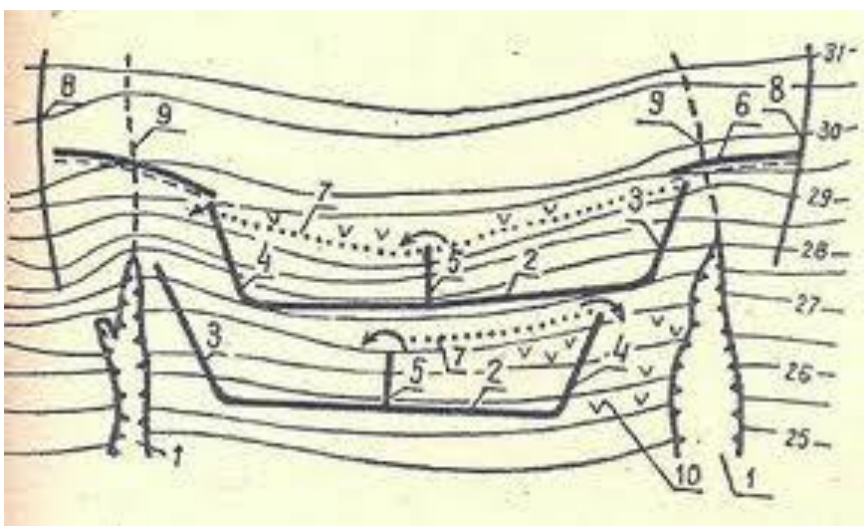
Русловые и донные сооружения для борьбы с дальнейшим углублением оврага и задержания продуктов размыва состоит из системы запруд высотой не более 0,7 м и перепадов, уменьшающих скорость течения воды по дну оврага. Их устраивают капитального типа из бетонных элементов или каменной кладки и облегченные - в виде хворостяных или плетневых запруд. Хорошо использовать новый хворост свежей рубки, который легко укореняется. Концы запруд врезают в боковые стенки оврага на 1 м во избежание подмыва водой его склонов. Между запрудами постепенно откладываются наносы. С течением времени дно оврага повышается и уполаживается. Расстояние между запрудами назначают так, чтобы верх нижней запруды был расположен примерно на уровне дна выше расположенной плотины.

Важное значение для закрепления оврагов и прекращения их размыва имеет посадка у верховьев оврага, вблизи его склонов и берегов деревьев и кустарников полосой шириной не менее 15—20 м.

В зависимости от климатических условий местности могут быть применены дуб, ясень, береза, тополь, клен и сосна (на песках), из кустарников — акация, жимолость, смородина, терн, шиповник и др. В пределах полосы насаждений развивается травянистый покров, укрепляющий своей корневой системой верхние слои почвы, задерживающий влагу и тем самым уменьшающий сток воды в овраг. После проведения активных мероприятий по борьбе с ростом и размывом оврага рекомендуется насаждать лес по склонам и в русле самого оврага для окончательного его закрепления.

Закрепление придорожных оврагов требует ряда лет.

Проект активных мероприятий по укреплению оврагов разрабатывают на основе данных, собранных в процессе изысканий, в увязке с планами местных сельскохозяйственных организаций. Необходимо иметь детальный план оврага и прилегающей водосборной площади в масштабе 1 : 2000 — 1 : 5000 в горизонталях.



Проектирование дорог в карстовых районах.

Карстовые процессы происходят в толще растворимых горных пород — гипса, известняка, доломита, каменной соли и других, выщелачиваемых подземными водами. В результате совместной деятельности грунтовых и проникающих поверхностных вод такие горные породы растворяются и уносятся подземными водами. В толще земли образуются пустоты, подземные ходы, полости и большие пещеры, а на поверхности — всевозможные углубления, вызванные обрушением и проседанием кровель полостей, а также воронки, рытвины и борозды, появившиеся в результате непосредственного размыва и растворения. Диаметр карстовых воронок обычно составляет от 1 до 50 м, а глубина редко превышает 15—20 м. Своеобразная поверхность такой местности — карстовый ландшафт указывает на наличие карстовых процессов, что должно быть учтено при проложении трассы дороги.

Строительство автомобильных дорог в карстовых районах сопряжено с опасностью разрушения дороги при развитии карстовых процессов и обрушениях кровли карстовых полостей, пересекаемых дорогой. Поэтому при изысканиях автомобильных дорог должна быть установлена интенсивность карстовых явлений, которая зависит от состава горной породы и степени ее трещиноватости, от ее растворимости, химического состава грунтовых вод и от рельефа местности.

По степени опасности для строительства карст делят на два типа:

I — карст в легкорастворимых породах — сульфатных (гипсовых), сульфато-карбонатных и каменной соли, где ежегодно могут образовываться воронки и возникать просадки;

II — карст в труднорастворимых породах — карбонатных — в известняках, доломитах, в мелу и в обломочных породах с карбонатным цементом.

Во втором случае развитие карста протекает значительно медленнее и новые элементы карстового ландшафта часто не появляются десятилетиями. Это позволяет прокладывать дороги и возводить инженерные сооружения (учитывая их расчетный срок службы) на прочных участках закарстованной территории.

Ориентировочной характеристикой интенсивности развития карстовых процессов, по данным проф. Г. А. Максимовича, может служить количество воронок, образующихся в год в результате провала кровли карстовых пещер на площади в 1 км²

Категория района	Характеристика устойчивости рельефа	Количество воронок, образующихся на 1 км
I	Весьма неустойчивый	5—10 в год
II	Неустойчивый	1—5 в год
III	Среднеустойчивый	1 в 10—20 лет
IV	Устойчивый	1 в 20—50 лет
V	Весьма устойчивый	За 50 лет нет зарегистрированных воронок

Возраст воронок при изысканиях может быть определен по растущим на их склонах деревьям, по степени задернованности откосов, по округленности краев воронок и заполнению их грунтом.

Чтобы определить степень и интенсивность карстовых процессов и выявить участки, неблагоприятные для проложения дорог, во время изысканий следует изучить геологические напластования, мощность, состав и степень трещиноватости водорастворимых пород. Должны быть установлены состав, мощность и степень водопроницаемости покрывающих их грунтов, связь расположения карстовых воронок с геологическим строением местности. Необходимо собрать сведения о режиме грунтовых вод, степени их агрессивности и источниках питания.

Для выявления подземных карстовых полостей целесообразно использовать метод электроразведки, заключающийся в измерении сопротивления толщи пород, залегающих на определенной глубине.

По материалам обследований на карту местности наносят границы зон пониженных электрических сопротивлений, характеризующих распространение карстов.

Для относительно безопасного проложения трассы необходимо, чтобы малопроницаемый для воды поверхностный грунтовый слой имел толщину не менее 8—10 м, водорастворимая горная порода была малой толщины при незначительной трещиноватости, грунтовые воды были малопроницаемы, а грунты под ними — прочными.

Безопасность проложения трассы от основания инженерных сооружений определяют по эмпирической формуле $H_6 = K_6 h$, где h — высота карстовой полости; K_6 — коэффициент безопасности.

Величина коэффициента безопасности зависит от геологических условий и категории сооружений. Для автомобильных дорог и закарстованных известняков K_6 составляет 100—150.

Мероприятия по борьбе с карстовыми процессами требуют значительных затрат и недостаточно эффективны, поскольку при строительстве автомобильной дороги их пришлось бы осуществлять на большом протяжении. Поэтому неустойчивые участки, где активно развиваются карстовые процессы, следует по возможности обходить.

На интенсивность карстовых процессов влияет рельеф местности, поскольку на крутых склонах происходит меньшее просачивание грунтовых и талых вод. Поэтому в карстовых районах проложение трассы по склонам предпочтительнее водораздельного и долинного.

В районах, где карстовые процессы затухли, о чем можно судить по отсутствию образования в течение многих лет новых просадочных воронок, дороги низших категорий строят без учета карстовых явлений. Дороги высших категорий можно прокладывать в невысоких насыпях, обходя участки сосредоточения воронок, при условии выполнения в пределах придорожной полосы работ, направленных на уменьшение количества воды, поступающей в подземные трещины и каналы в толще водорастворимой породы.

Предусматриваются следующие мероприятия:

- планировка придорожной полосы и отвод воды, застаивающейся в пониженных местах рельефа;
- отказ от применения напорных труб и мостов, рассчитанных на аккумуляцию воды перед сооружением,
- укрепление русел водотоков и отводных канав;
- засыпка карстовых воронок водонепроницаемым грунтом с тщательным послойным уплотнением;
- запрещение устройства с верховой стороны насыпей глубоких резервов и закладки грунтовых карьеров;
- заполнение через буровые скважины (тампонирование) расположенных вблизи от дороги карстовых полостей и трещин песчано-глинистыми, битумными и цементными растворами для уменьшения водопроницаемости растворимых горных пород вблизи искусственных сооружений;
- обрушение взрывами неустойчивой кровли породы над полостями;
- устройство глубокого дренажа, прерывающего движение к земляному полотну грунтовой воды, которая служит причиной возникновения карстовых процессов; заполнение песком или глиной карстовых воронок и трещин вблизи устройства в проекции дорожного полотна, если частота обводнения горными выработками. Обрушение кровли над пустотами приводит к смещению горных пород, что может вызвать допущение остаточных деформаций, заложения впадин на поверхности и др. Процесс поверхности протекает замедленно, захватывая участки дороги протяжением в десятки метров. Глубина просадок достигает иногда 60 – 80 см, отражаясь на скоростях движения. Потери ровности покрытий и плавные просадки земляного полотна на больших участках могут устраняться при ремонтных работах.. Протекание осадок следует учитывать лишь в конструкциях мостов, которые должны предусматривать возможность неравномерной осадки и ее компенсации.

При близком к поверхности заложении выработок необходима их заделка в пределах придорожной полосы через пробуренные скважины диаметром 75—100 мм песчано-глинистым

карстовые ландшафты

«Каменный лес» ,Мадагаскар.



Оренбургская область.



Сьерра-Норте



карстовый провал в полосе отвода автодороги



Карст пейзаж,
ВИНТ.



Красноярский край

