

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Баламирзоев Назим Лиодинович

Должность: Ректор

Дата подписания: 19.01.2026 16:42:29

Уникальный программный ключ:

5cf0d6f89e80f49a334f6a4ba58e91532689926

Министерство науки и образования РФ

**ФГБОУ ВО “ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”**



КАФЕДРА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по дисциплине «Проектирование автомобильных дорог в сложных условиях» для студентов направления подготовки бакалавров 08.03.01-Строительство, профиль «Автомобильные дороги»

Махачкала 2025г.

УДК 624. 131.1

Учебно-методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Проектирование автомобильных дорог в сложных условиях» для студентов направления подготовки бакалавров 08.03.01-Строительство, профиль «Автомобильные дороги»

Учебно-методические указания предназначены для студентов направления подготовки бакалавров 08.03.01-Строительство, профиль «Автомобильные дороги», выполняющих задания по практическим занятиям дисциплины «Проектирование автомобильных дорог в сложных условиях». В методических указаниях рассматриваются задачи проектирования элементов автомобильных дорог в сложных условиях, какими являются болота, горный рельеф, овражная система, районы развития карста, районы орошаемого земледелия и т.д. Приводятся примеры проектирования серпантин в сложных горных условиях, расчетов по устойчивости откосов земляного полотна, расчета самого полотна на слабых основаниях.

В приложении приводится справочный материал, необходимый для выполнения заданий по практическим занятиям.

Составитель: М. О. Аллаев, к.т.н., доцент кафедры ТС и СМ

Рецензенты:

Генеральный директор ООО
«Дагдорпроект»

Г. М. Гаджиев

К.т.н., доцент

Э. З Батманов

Печатается согласно постановлению Совета Дагестанского государственного технического университета от 2025г.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ВЫСОКИХ НАСЫПЯХ И ГЛУБОКИХ ВЫЕМКАХ.....	5
1.1 Расчет устойчивости откосов высоких насыпей и глубоких выемок земляного полотна	5
1.2 Определение очертания устойчивого откоса по приближенному графику ВОДГЕО.....	7
1.3. Определение устойчивости предварительно запроектированного откоса по круглоцилиндрической поверхности скольжения	9
1.4. Порядок расчета контура равнопрочного откоса насыпи	11
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА БОЛОТАХ	15
2.1. Конструкции земляного полотна на болотах.....	15
2.2 Принципы принятия проектных решений на участках залегания слабых грунтов	17
2.3 Расчет земляного полотна на слабом основании	17
3. ТРАССИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ	25
3.1. Продольный профиль горных дорог	25
3.2. Мероприятия по повышению устойчивости оползневых массивов.....	26
3.3. Проложение трассы дороги на участках осыпей и камнепадов	26
3.4. Подпорные стенки, каменные низовые банкеты	27
4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРПАНТИН	28
4.1. Условия применения серпантин	28
4.2 Общие рекомендации изысканий и проектирования серпантин.....	29
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРПАНТИНЫ ПЕРВОГО РОДА	31
5.1 Определение элементов переходных кривых у основной кривой.	31
5.2 Определение элементов переходных кривых у вспомогательных кривых.....	32
5.3 Расчет элементов построения серпантини.....	32
5.4 Размещение элементов земляного полотна в горловине серпантини.	35
6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДООТВОДА В РАЙОНЕ СЕРПАНТИН	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	37
ПРИЛОЖЕНИЯ	38
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	40

ВВЕДЕНИЕ

Строительство автомобильных дорог во многих районах СНГ проходит в сложных климатических, сейсмических, гидрологических и инженерно-геологических условиях. К сложным природным условиям можно отнести районы: распространения вечной мерзлоты; болотистые; распространения оврагов; распространения карстовых процессов; горные.

Главной особенностью территории зоны вечной мерзлоты является то, что их освоение сопровождается образованием термокарстовых озер из-за таяния мерзлых грунтов и вытаивания жильных и погребенных льдов и при нарушении мохорастительного покрова.

Болота - это избыточно увлажненные участки земной поверхности, на которых большую часть года застаивается вода. Исследование болот, целью которого является выявление возможности использования торфа в качестве основания. В данном пособии рассмотрено проектирование земляного полотна на слабых основаниях, в качестве которых рассматриваются торфяные грунты. Проектирование и строительство земляного полотна на слабых основаниях является весьма актуальной проблемой.

Овраги появляются в результате водной эрозии - процесса размыва почв и рыхлых подстилающих их пород стекающими со склонов потоками воды от дождей и таяния снега. Рациональное направление трассы в этих районах выбирается в зависимости от конфигурации овражной сети и категории дороги. При развитой сети оврагов положение дороги в обход оврагов снижает стоимость строительства, но приводит к большой извилистости трассы, перепробегу автомобилей. Поэтому дороги высших категорий прокладывают по кратчайшему направлению. При проектировании дорог низших категорий более выгодными оказываются варианты трассы с минимальным числом пересечений оврагов.

Карстовые процессы происходят в толще растворимых горных пород: гипса, известняка, каменной соли и др. В результате их растворения под действием грунтовых вод в толще земли образуются пустоты, полости, пещеры, а на поверхности - углубления, вызванные обрушением и проседанием кровли полости, а также воронки, рытвины и борозды. Строительство дорог в этих районах связано с опасностью разрушения дороги при развитии карстовых явлений.

Изыскания, проектирование и строительство горных дорог представляет значительные трудности. Из-за сложного рельефа местности, круtyх и неустойчивых склонов и необходимости преодоления больших разностей высот, выбор трассы дороги требует большого внимания и часто небольшое смещение трассы по склону резко меняет объемы работ. Стоимость строительства дорог в этих районах более чем в два раза выше строительства в равнинной местности при одной и той же категории.

В данных методических указаниях рассмотрены особенности проектирования автомобильных дорог в вышеприведенных сложных условиях, приведены решения наиболее встречающихся инженерных задач при их проектировании.

Методические указания разработаны на основе образовательного стандарта специальности, рабочей программы и с учётом концептуальных разработок по совершенствованию проектного дела в современных условиях, опыта мировой и отечественной практики.

Методические указания предназначены для выполнения заданий по практическим занятиям дисциплины "Проектирование автомобильных дорог в сложных условиях" студентами направления подготовки бакалавров 08.03.01-Строительство, профиль «Автомобильные дороги»

1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ВЫСОКИХ НАСЫПЯХ И ГЛУБОКИХ ВЫЕМКАХ

1.1 Расчет устойчивости откосов высоких насыпей и глубоких выемок земляного полотна

Общие положения

Потеря общей устойчивости откосов насыпей и выемок является одним из наиболее распространенных видов деформаций земляного полотна автомобильных дорог. В связи с этим проверка общей устойчивости откосов земляного полотна на различных участках дороги - обычная задача для инженера-дорожника, а выполняемые при этом геотехнические расчеты - обязательная часть обоснования практических любого проекта дороги.

При расчете общей устойчивости откосов исходят из следующих возможных **схем обрушения** [5]:

- если грунт земляного полотна однороден или отдельные его слои мало отличаются по прочностным показателям, смещение оползающего массива происходит по образующейся в грунте криволинейной поверхности скольжения;

- если грунт земляного полотна имеет неоднородные напластования, резко различающиеся по прочностным показателям, смещение грунтового массива может происходить по фиксированной поверхности между слоями.

Наиболее общим и часто встречающимся случаем является обрушение откосов по криволинейным поверхностям скольжения. Наблюдения показывают, что откосы насыпей обрушаются по поверхностям скольжения, близким по форме к кругло-цилиндрическим (рисунок 1).

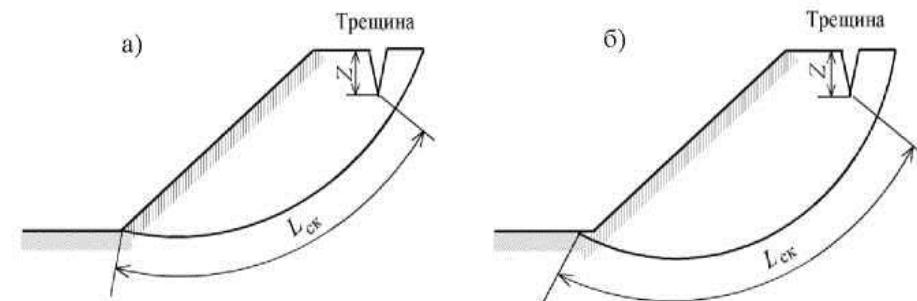


Рисунок 1.1 - Положение опасных кривых скольжения:

а - при устойчивых грунтах основания; б - при слабых грунтах основания: L_{ck} – расчетная длина скольжения

Обрушению откосов всегда предшествует появление вертикальной трещины обрушения (трещины Терцаги). В зависимости от свойств грунтового основания насыпи возможны **два вида обрушения**:

- при достаточно устойчивых грунтах основания поверхность обрушения обычно происходит через подошву откоса насыпи (см. рисунок 1.1, а);

- в случае слабого грунтового основания поверхность обрушения может заходить в пределы слабого слоя и распространяться за пределы подошвы откоса насыпи (см. рисунок 1.1, б).

Общая устойчивость откоса насыпи оказывается обеспеченной лишь в том случае, если сумма всех сил, сдвигающих массив обрушения (или их моментов относительно оси вращения), оказывается меньше суммы сил (или их моментов), его удерживающих, т. е. при расчетном коэффициенте устойчивости $K_p > 1$. Однако, учитывая некоторую погрешность методов расчета и исходных данных, неучет некоторых фактических условий работы (например, динамического

воздействия подвижного состава) и т. д., с инженерной точки зрения общая устойчивость откоса насыпи считается обеспеченной, если расчетный коэффициент устойчивости оказывается равным нормативному, определяемому по следующей формуле [5]:

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n P_{y\partial}}{\sum_{i=1}^n P_{c\partial\sigma}} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{y\partial}}{\sum_{i=1}^n M_{c\partial\sigma}}$$

Крутизна откосов насыпей, укрепленных посевом трав, назначается в соответствии с таблицей 1.1. Наибольшая крутизна выемок при высоте откоса до 12 м в песчаных и глинистых грунтах назначается 1 : 1,5.

Таблица 1.1 - Наибольшая крутизна откосов насыпей

Грунт насыпи	Наибольшая крутизна откосов при высоте откоса насыпи, м		
	до 6	до 12, в том числе	
		в нижней части до 6м	в верхней части от 6 до 12м
Крупнообломочные грунты, пески крупные, пески средние	1 : 1,5	1 : 1,5	1 : 1,5
Пески мелкие, пески пылеватые	1 : 1,5	1 : 2	1 : 1,5
Глинистые грунты	1 : 1,75	1 : 2	1 : 1,75

При оценке устойчивости откоса необходимо:

- установить индекс классификационной группы откоса, определяющий особенности строения и гидрогеологического режима грунтовой толщи, слагающей откос и его основание (таблица 1.2);
- выбрать метод расчета для проверки устойчивости откоса;
- произвести расчеты по выбранным методам и получить расчетное значение коэффициента устойчивости;
- сопоставить полученное значение коэффициента устойчивости с требуемым значением и сделать заключение о степени устойчивости;
- при недостаточной устойчивости необходимо выбрать мероприятие или комплекс мероприятий, обеспечивающих ее повышение наиболее рациональным в данных конкретных условиях способом.

Расчет устойчивости откосов выемок и насыпей заключается в определении равнопрочного, наиболее экономичного, с обеспечением заданного коэффициента запаса устойчивости, поперечного сечения сооружения.

Исходными данными при расчете откосов служат:

- величина и характер внешних нагрузок;
- заданные отметки подошвы и бровки откоса;
- геотехнические разрезы по расчетным сечениям;
- расчетные характеристики грунтов основания и грунтов, используемых для возведения насыпи, а для выемок - грунтов откосной части;
- гидрогеологические данные /горизонт грунтовых вод, уровень возможного подтопления и т.п./.

Расчеты устойчивости выполняются в условиях плоской задачи - для элемента сооруже-

ния, имеющего протяженность в I п.м. За расчетные должны приниматься сечения насыпи /выемки/:

- в наиболее высокой /глубокой/ части;
- в местах, где грунты основания или откоса имеют наименьшее сопротивление сдвигу;
- в местах наличия внешних сосредоточенных нагрузок;
- в местах подтопления или наличия грунтовых вод.

Расчет откосов ведется в следующей последовательности:

- приближенным методом определяют ориентировочное устойчивое очертание откоса (равноустойчивый откос);
- в соответствии с существующими нормативными указаниями, с учетом рекомендаций, намечается конструктивный профиль насыпи или выемки;
- устойчивость намеченных откосов насыпи или выемки проверяется на условия равновесия оползающей массы грунта, ограниченной определенной поверхностью скольжения /круглоцилиндрической, плоской, составной/;
- принятое по приближенному методу расчета конструктивное сечение корректируется таким образом, чтобы коэффициент запаса устойчивости, определенный по п. «в», в любом месте откоса был близок к заданному нормативному значению.

Тип земляного полотна	Вид строения откоса по наличию слоистости	Разновидность грунтового массива по характеру слоистости	Разновидность откоса по воздействию подземных и поверхностных вод
Насыпь	A. Однородный	-	1 Безводный 2 Подверженный силовому воздействию воды
	B. Слоистый	-	1 Безводный 2 Подверженный силовому воздействию воды
Выемка	A. Однородный	-	1 Безводный 2 Несущий поток грунтовых вод
	B. Слоистый	I. Горизонтальные слои II. Падение в сторону выемки III. Падение от выемки IV. Сложное расположение слоев	1 Безводный 2 Несущий поток грунтовых вод

Таблица 1.2 - Инженерно-геологические особенности грунтовой толщи

1.2 Определение очертания устойчивого откоса по приближенному графику ВОДГЕО

Проектирование равноустойчивого откоса следует вести, начиная расчеты устойчивости с верхней части откоса, постепенно переходя к нижним, через определенные интервалы - 6-12м.

Средний угол φ_{cp} устойчивого откоса (угол между линией, соединяющей подошву и бровку откоса, и горизонтом) в однородных грунтах приближенно может быть определен по графику института Водгео /рис.2/ по заданным величинам: сцепления с t/m^2 , удельного веса $\gamma_{cp} t/m^3$, высоте откоса H_0

По вертикальной оси откладывается величина $\frac{c}{\gamma H_0}$, где $c = \frac{c_p}{n}$

По существующей кривой φ , где $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{tg} \varphi_p}{n}/2$ на горизонтальной оси находится средний угол устойчивого откоса. Здесь c_p и φ_p - расчетные значения сцепления и угла внутреннего трения; n – коэффициент запаса устойчивости

Пример 1.

Исходные данные:

Заданная высота откоса - 22 м (рис1.2).

По высоте откоса выявлены два слоя с различными геотехническими свойствами:

1 слой / h_1 / - супесь. Плотность грунта $= 1,90 \text{ т/m}^3$, угол внутреннего трения $= 28^\circ$, удельное сцепление $= 1,0 \text{ т/m}^2$

2 слой / h_2 / - суглинок. Плотность грунта $= 1,85 \text{ т/m}^3$, угол внутреннего трения $= 28^\circ$, удельное сцепление $= 1,2 \text{ т/m}^2$

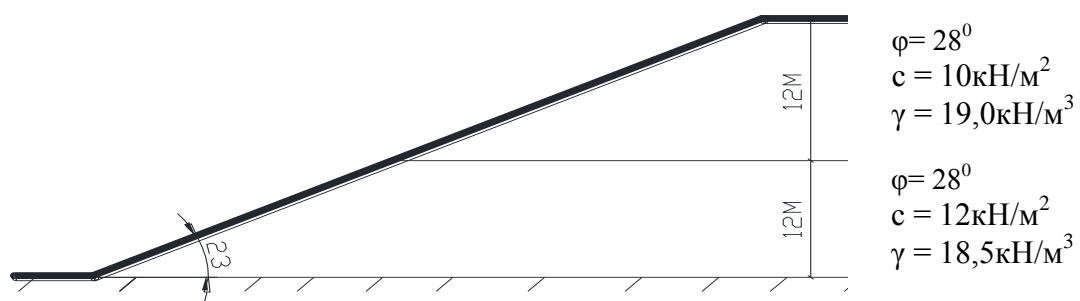


Рисунок 1.2. К ориентировочному определению угла устойчивого откоса

Решение:

Ориентировочное очертание равноустойчивого откоса может быть найдено по графику ВОДГЕО (рис.1.3).

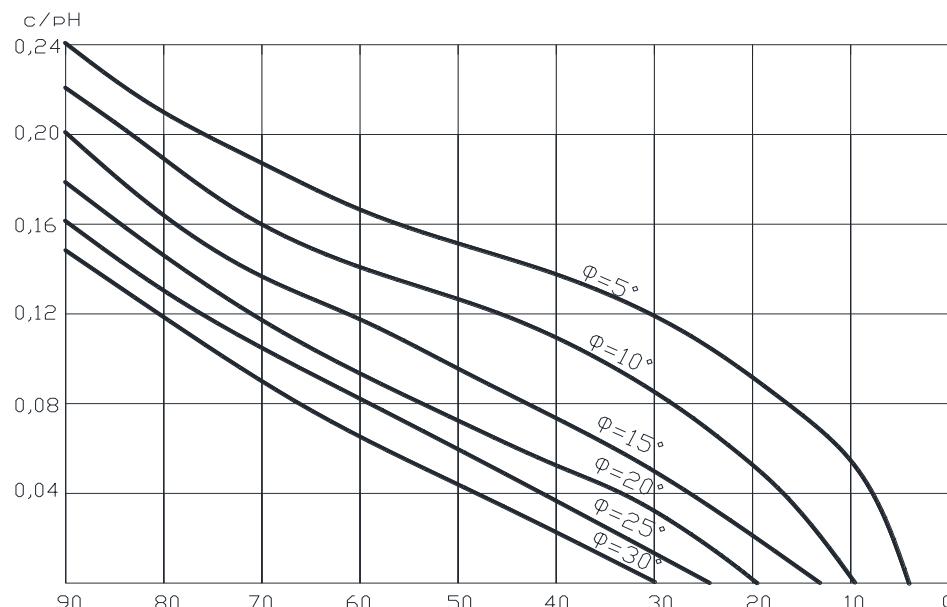


Рисунок 1.3. График института ВОДГЕО для ориентировочного определения угла устойчивого откоса

1. Определяются средние по всему откосу значения расчетных характеристик грунта

$$\operatorname{tg} \varphi_{cp} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_1 h_1 + \operatorname{tg} \varphi_2 h_2}{h_1 + h_2} = \frac{28 * 12 + 15 * 10}{12 + 10} = 0.41$$

$$c_{cp} = \frac{c_1 h_1 + c_2 h_2}{h_1 + h_2} = \frac{1 * 12 + 1.2 * 10}{12 + 10} = 1.1 \text{ т/м}^2$$

$$\rho_{cp} = \frac{\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2}{h_1 + h_2} = \frac{1.9 * 12 + 1.85 * 10}{12 + 10} = 1.88 \text{ м/м}^3$$

2. Находятся величины

$$\operatorname{tg} \varphi_p = \frac{\operatorname{tg} \varphi_{cp}}{n} = \frac{0.41}{1.8} = 0.32$$

что соответствует

$$\varphi = 18^0; \quad \frac{c_p}{\rho H_0} = \frac{0.85}{1.88 * 22} = 0.021$$

$$c_p = \frac{c_{cp}}{n} = \frac{1.1}{1.3} = 0.85$$

3. По графику на рис.3 находим средний угол устойчивого откоса, равный в данном случае 23°

1.3. Определение устойчивости предварительно запроектированного откоса по круглоцилиндрической поверхности скольжения

Проверка устойчивости предварительно запроектированного откоса производится путем определения коэффициента запаса устойчивости, равного отношению суммы сил, удерживающих оползающую массу грунта, к сумме сил, способствующих сдвигу. При этом в расчетах принимается, что оползание грунта происходит по определенной /круглоцилиндрической, плоской или составной/ поверхности скольжения.

Поверхность скольжения считается круглоцилиндрической для всех связных грунтов при крутизне откосов меньше 60° /рис.2а/.

Плоской считается поверхность скольжения:

а/ для несвязных грунтов,

б/ для всех грунтов при крутизне откосов более 60° /рис.2б/,

в/ для насыпей на косогорах /если грунт основания имеет большее сопротивление сдвигу, чем грунт насыпи/ /рис.2в/,

г/ при обнажении откосом выемки слоев плотного грунта с кровлей, наклонной в сторону откоса /рис.2г/.

Составной поверхность скольжения считается при наличии кровли плотного слоя ниже подошвы насыпи или дна выемки /рис.2д/.

В тех случаях, когда отсутствует уверенность в определенной форме поверхности скольжения, следует проверять расчетом все возможные варианты-наихудшие с точки зрения устойчивости.

При форме поверхности скольжения, установленной в натуре инженерно-геологическими исследованиями, коэффициент устойчивости откоса определяется только по данной кривой или плоскости.

Пример 2.

Исходные данные:

Грунты и высота откоса те-

же, что в примере I.

Грунты основания:

$$\phi = 18^0$$

$$c = 19 \text{ кН/м}^2$$

$$\gamma = 18,5 \text{ кН/м}^3$$

Конструктивное очертание откоса принято в соответствии с результатами предварительного расчета /см. пример № 1/.

РЕШЕНИЕ:

Так как сопротивление сдвигу грунта основания несколько выше, чем грунтов откоса, то крутизна откоса не превышает 80° , критическая дуга скольжения проходит через подошву насыпи.

Откосный клин, ограниченный дугой, разбит на 8 отсеков. Для каждого отсека определяется угол δ между вертикальной и нормальной составляющими, проведенными из проекции центра тяжести отсека на кривую скольжения.

Составляющие силы N и T определяются по формулам

$$(N = \cos \delta; T = Q \sin \delta)$$

где Q - вес грунта в объеме отсека /в условиях плоской задачи на I п.м. длины откоса/

$$Q = \Omega \gamma$$

где Ω - площадь отсека,

γ - средний удельный вес грунта отсека

δ - угол отклонения нормальной силы от вертикали.

Центр критической дуги скольжения О находят путем последовательного приближения. Он располагается на линии, проходящей через бровку откоса и точку В, лежащую на глубине Н и расстоянии $5H$ от подошвы откоса /рис.5/. Для первого приближения центр критической дуги назначается на пересечении линии СВ с линией АО, проведенной под углом 25° к среднему откосу. При последующих этапах проверки центры O_1, O_2, O_3, \dots намечаются выше через 0,25 - 0,3Н.

В данном случае наименьший коэффициент запаса устойчивости будет для дуги с центром O_3 /рис.4/. Ход расчета устойчивости по дуге скольжения с центром O_3 приведен в табл.2.

Расчетная таблица для дуги с центром в точке O_3

Табл.1.3

Отсеки	Sin δ	δ	Cos δ	Ω	$Q = \Omega \gamma$	$N = Q \cos \delta$	$T = Q \sin \delta$	lc
1	0,72	46	0,70	65	124	86	89	16x1,0
2	0,60	37	0,80	113	212	169	127	
8	0,47	28	0,88	124	231	204	108	19x1,2
4	0,88	22	0,38	150	279	270	106	
5	0,16	$9^\circ 30'$	0,99	136	251	248	41	53x1,9
6	0	0	1	125	231	231	-	
7	-0,15	$8^\circ 30'$	0,99	90	166	164	-25	
8	-0,29	17	0,96	36	66	68	-19	

$$n = \frac{\sum_{i=1}^k N_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum_{i=1}^k l_i c_i}{\sum_{i=1}^k T_i} \quad (3)$$

$$n = \frac{86,0 * 580 + 378 * 0,268 + 976 * 0,324 + 16 + 28 + 101}{427} = \\ \frac{46 + 100 + 316 + 140}{427} = \frac{602}{427} = 1,41$$

Наименьший коэффициент запаса устойчивости для данного очертания откоса равен 1.41, что удовлетворяет требованиям таблицы I.

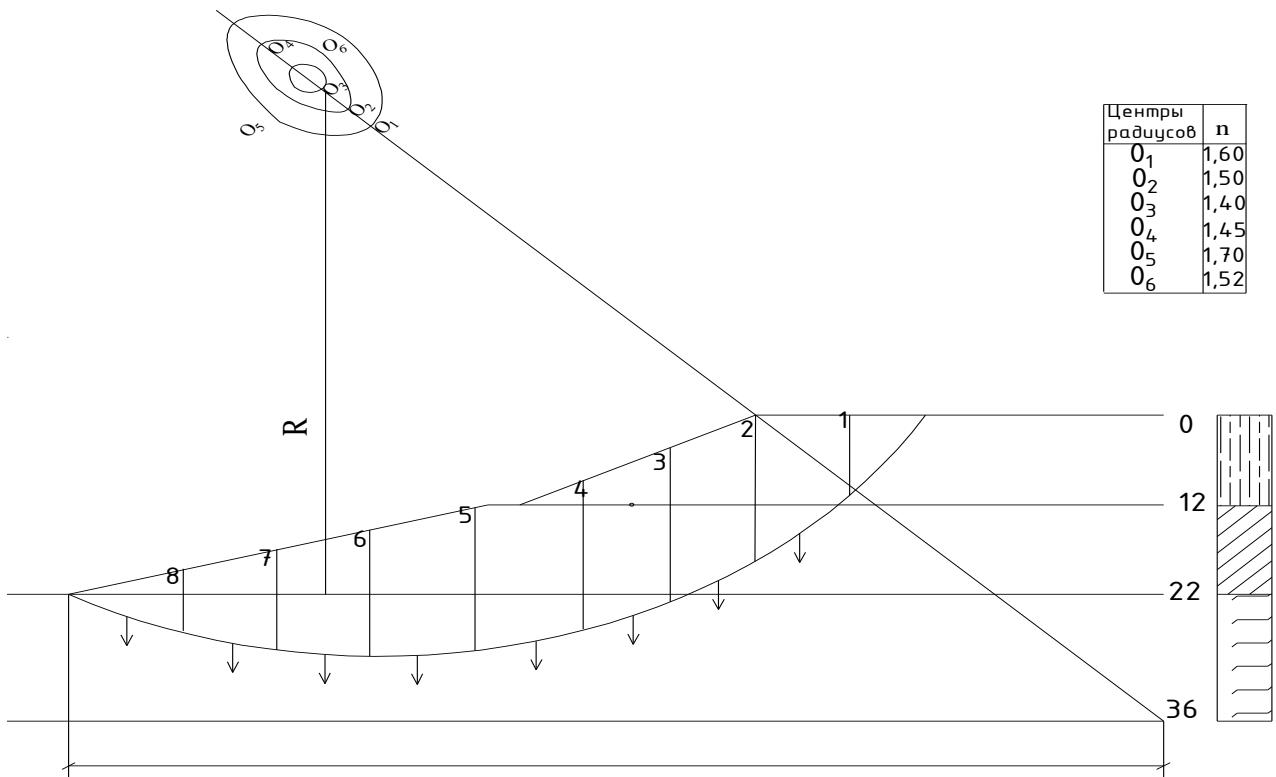


Рисунок 4 Расчетная схема для круглоцилиндрической поверхности скольжения

1.4. Порядок расчета контура равнопрочного откоса насыпи

Оценка устойчивости откосов насыпей производится в следующей последовательности:

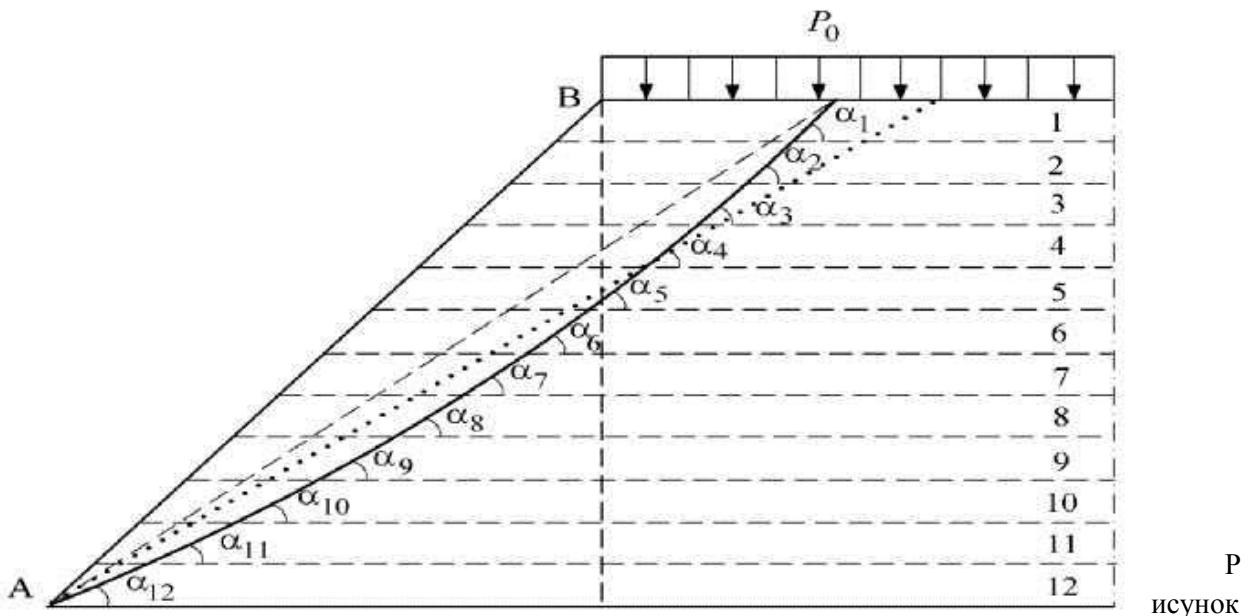
1. Откос делят по высоте на ряд слоев мощностью 1 м каждый (рис. 5).
2. Определяют давление от собственного веса грунта (природное давление) для подошвы каждого из слоев по формуле

$$P_{np} = \sum_{i=1}^{i=n} 0.01 \rho Z_i$$

где ρ - плотность грунта, $\text{т}/\text{м}^3$;

Z_i - мощность слоя грунта, м ($Z_i = 1$ м).

3. В соответствии с исходными данными принимают угол внутреннего трения и определяют его тангенс.



1.5. - Схема проектирования контура равнопрочного откоса

Рисунок

4. Определяют соотношение

$$C_w / P_{np},$$

где C_w - общее сцепление, Ма;

P_{np} - давление от собственного веса грунта, МПа.

5. Вычисляют тангенс угла сдвига и значение самого угла сдвига для каждого слоя при отсутствии внешней нагрузки:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \psi &= \operatorname{tg} \varphi + C_w / P_{np} \\ \psi &= \operatorname{arctg} \psi \end{aligned}$$

6. Определяют тангенс угла сдвига и значение самого угла сдвига для каждого слоя при наличии внешней нагрузки, выраженной через равномерно распределенную нагрузку:

$$\operatorname{tg} \psi_p = \operatorname{tg} \varphi + C_w / (P_{np} + P_0)$$

где P_0 - внешняя равномерно распределенная нагрузка, МПа.

$$\psi_p = \operatorname{arctg} \psi_p$$

7. Вычисляют угол наклона поверхности скольжения к горизонту для каждого слоя с учетом коэффициента запаса устойчивости $K_{зап}$ и без дополнительной внешней нагрузки:

$$\alpha_z = \psi / K_{зап}$$

8. Вычисляют угол наклона поверхности скольжения к горизонту для каждого слоя с учетом коэффициента запаса устойчивости $K_{зап}$ и при воздействии равномерно распределенной дополнительной внешней нагрузки:

$$\alpha_{z,p} = \psi_p / K_{зап}$$

Результаты расчета сводятся в таблицу (таблица 3).

9. Ставят профиль откоса. На рисунке 2, начиная с нижней точки откоса (точка А), проводят прямую линию под углом, соответствующим углу α_{12} на глубине 12 м, в пределах нижнего слоя грунта. Из точки пересечения нижней прямой с верхней плоскостью слоя проводят прямую под углом, соответствующим углу α_{11} на глубине 11 м, и т. д. Построение ломаной линии откоса осуществляют снизу вверх - от основания откоса до его верхней поверхности. Получен-

ную линию откоса спрямляют за счет увеличения углов α для некоторых слоев грунта.

Пример. 3

Исходные данные: высота насыпи - 12 м; плотность грунта ρ - 1,88 т/м³; угол внутреннего трения φ - 26°; общее сцепление грунта C_w - 0,08 МПа; заложение откоса - 1:1; равномерно распределенная нагрузка P_0 - 0,1 МПа; коэффициент запаса $K_{зап}$ - 1,25.

На отдельном листе вычерчиваем профиль откоса в соответствии с заданием в масштабе 1:100. Откос делим по высоте на слои мощностью 1 м каждый (см. рисунок 2). В данном случае получилось 12 слоев. Далее производим расчет в соответствии с последовательностью, представленной в подразд. 1. Расчет начинаем с первого слоя.

Давление от собственного веса грунта определяем по формуле (2):

$$P_{пр} = 0,01 \cdot 1,88 \cdot 1 = 0,0188 \text{ МПа.}$$

Тангенс внутреннего угла трения, φ , в соответствии с исходными данными, составляет $\operatorname{tg} 26^\circ = 0,488$.

Определяем отношение $C_w / P_{np} = 0,08/0,0188 = 4,25$.

По формуле (3) определяем тангенс угла сдвига и значение самого угла сдвига при отсутствии внешней нагрузки:

$$\operatorname{tg} \psi = 0,488 + 4,25 = 4,74; \quad \psi_p = \operatorname{arctg} 4,74 = 78^005'$$

По формуле (4) определяем тангенс угла сдвига и значение самого угла сдвига при наличии внешней нагрузки, выраженной через равномерно распределенную нагрузку:

$$\operatorname{tg} \psi_p = 0,488 + 0,08/(0,0188 + 0,1) = 1,16; \quad \psi_p = \operatorname{arctg} 1,16 = 49^012'$$

Угол наклона поверхности скольжения к горизонту для каждого слоя с учетом коэффициента запаса устойчивости $K_{зап}$ и без дополнительной внешней нагрузки определяем по формуле (5):

$$\alpha_z = 78,05/1,25 = 39^0$$

По формуле (4.6) вычисляем угол наклона поверхности скольжения к горизонту для каждого слоя с учетом коэффициента запаса устойчивости $K_{зап}$ и при воздействии равномерно распределенной дополнительной внешней нагрузки:

$$\alpha_{z,p} = 49^012'/1,25 = 39^0$$

Результаты расчетов для всех слоев сведем в таблицу 4.3.

Строим профиль откоса в соответствии с п. 9 подразд. 4.1. Полученную линию откоса спрямляем за счет увеличения углов α для некоторых слоев грунта.

Вывод. В результате графоаналитического проектирования (по методу равнопрочного откоса) построен контур равнопрочного откоса насыпи при коэффициенте запаса $K_{зап} = 1,25$ для грунта без и с дополнительной равномерно распределенной нагрузкой.

Полученный профиль откоса является устойчивым и обеспечивает целостность конструкции при воздействии на откос равномерно распределенной нагрузки.

Задачи

1 Зaproектировать графоаналитическим методом (методом равнопрочного откоса) контур равнопрочного откоса насыпи при заданном коэффициенте запаса без внешней нагрузки.

Таблица 1.3 - Результаты расчета угла наклона поверхности скольжения

№ точки	Коор-динаты точки Z , м	Природное давление $P_{\text{пр}}$, МПа	Угол внутреннего трения Φ ,	$\text{tg}9$	Общее сцепление C_w , МПа	Без дополнительной нагрузки				С дополнительной нагрузкой пределенной			
						$C_w / P_{\text{пр}}$	$\text{tg}V$	V	a	$C_w / (P_{\text{пр}} + P_0)$	$\text{tg}V$	V	a
1	1	0,0188	26	0,4877	0,08	4,25	4,73	78	62	0,67	1,16	49	39
2	2	0,0376				2,10	2,58	68	54	0,58	1,07	46	37
3	3	0,0564				1,40	1,88	62	49	0,51	0,96	43	34
4	4	0,0752				1,06	1,54	57	45	0,45	0,94	43	34
5	5	0,0940				0,85	1,33	53	42	0,41	0,90	42	33
6	6	0,1128				0,70	1,18	49	39	0,37	0,86	40	32
7	7	0,1316				0,60	1,08	47	37	0,34	0,83	39	31
8	8	0,1504				0,53	1,01	45	36	0,32	0,81	39	31
9	9	0,1692				0,47	0,95	43	34	0,30	0,79	38	30
10	10	0,1880				0,42	0,90	42	33	0,28	0,77	37	29
11	11	0,2068				0,38	0,86	40	32	0,26	0,75	37	29
12	12	0,2256				0,35	0,83	39	32	0,24	0,73	36	28

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА БОЛОТАХ

2.1. Конструкции земляного полотна на болотах

Земляное полотно на болотах проектируют только в насыпях в соответствии с требованиями к возвышению бровки земляного полотна в местах с длительным стоянием поверхностных вод. Поверхность болота обычно имеет малый уклон, поэтому проектную линию, кроме участков подходов к мостам, проектируют горизонтально или малыми продольными уклонами. Конструкцию земляного полотна назначают в зависимости от категории дороги, глубины болота, вида и плотности торфа, а также степени капитальности устраиваемой дорожной одежды.

Наиболее надежными, но и дорогими в строительстве являются насыпи, возводимые на прочном минеральном дне болотах. Их строят на дорогах с усовершенствованными капитальными типами покрытий при глубине болота до 4м и на дорогах с усовершенствованными облегченными покрытиями на болотах глубиной до 2м

Насыпь на болотах I типа с полным выторфовыванием

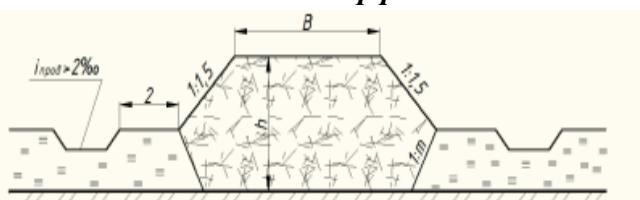


Рисунок 2.1 Насыпь на болотах I типа с полным выторфовыванием

Торф удаляют экскаваторами, взрывами на выброс или другими способами.

Крутину откосов земляного полотна ниже поверхности болота назначают в зависимости от плотности торфа от 1:0,5 до вертикального.

На дорогах с переходным и низшим покрытием на болотах с устойчивым торфом можно возводить земляное полотно с использованием несущей способности торфа с частичными или без выторфовыванием.

Насыпь на болотах I-II типа с частичным выторфовыванием

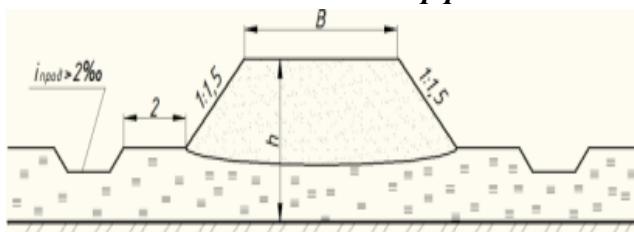


Рисунок 2.2 Насыпь на болотах I-II типа с частичным выторфовыванием

Насыпь на болотах I-II типа без выторфовывания

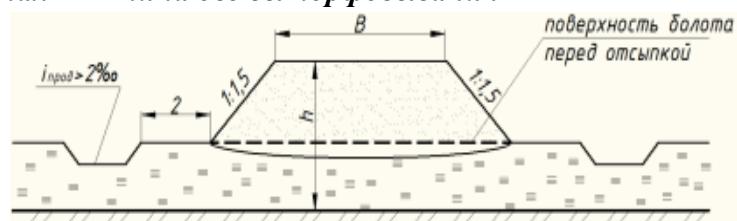


Рис 2.3 Насыпь на болотах I-II типа без выторфовывания

Торф является упругим материалом и при проезде автомобиля сжимается под насыпью, которая для ее прочности величины толщины слоя торфа, оставляемого под насыпью не

должна превышать при переходных покрытиях 1/3, а при низших 1/2 толщины минеральной части насыпи.

Осадка земляного полотна на торфяном основании может затягиваться на несколько лет.

Наиболее эффективным методом ускорения осадки является устройство вертикальных песчаных дрен, $d=20-30\text{cm}$, размещаемых на расстоянии 5м друг от друга.

Насыпь на болотах I-II типа глубиной до 6м с вертикальными дренами

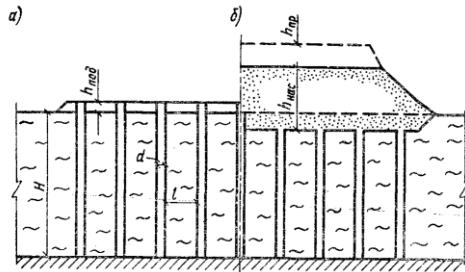


Рисунок 2.4 Насыпь на болотах I-II типа глубиной до 6м с вертикальными дренами

Действие вертикальных дрен основано на сокращении пути фильтрации воды выжимаемой из-под основания. На болотах с торфом сравнительно жидкой консистенции способной выжиматься в стороны из-под насыпи применяется конструкция з.п. с продольными дренажными прорезами заполненные песком, зажатый между песчаными прослойками торф постоянно осушается и уплотняется под весом насыпи.

Продольный водоотвод в виде боковых канал глубиной 0,6-0,8м устраивают не ближе 2м от насыпи с продольным уклоном не менее 2% и обязательным отводом в пониженные места. Для насыпей, под которыми оставлен торф, должны быть проверены устойчивость и осадка. Если коэффициент устойчивости не достаточен – предусматриваются меры по его повышению путем устройства пригрузочных берм.

Насыпь на болотах I, III типа с пригрузочными бермами

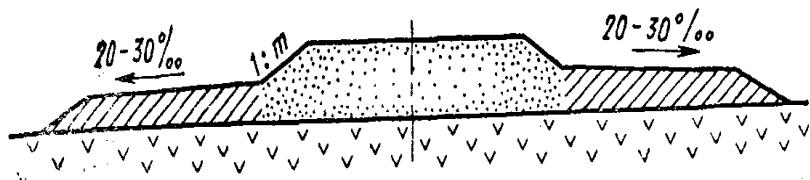


Рисунок 2.5 Насыпь на болотах I, III типа с пригрузочными бермами

Дороги низшей категории стоят непосредственно на поверхности торфяного слоя, а при достаточной его толщине и на сплавине. Для распределения веса на большую плотность поверхности болота и предотвращения сосредоточенного давления насыпь отсыпаю на бревенчатые настилы.

Земляное полотно на сплошном бревенчатом настиле

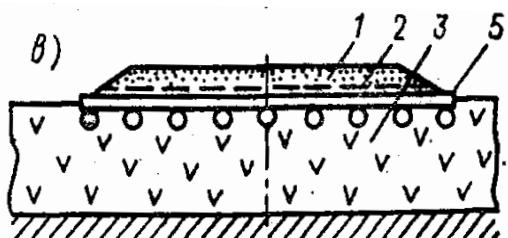


Рисунок 2.6 Земляное полотно на сплошном бревенчатом настиле

1- Прижимной брус, $d=20-30\text{cm}$;

2- косой настил, $d=15-25\text{ см}$;

3-поперечный настил покрытий $5-10\text{ см}$ мха

При проложении трассы по болотам, дно которых имеет большой поперечный уклон для предотвращения сползания насыпей производят полное выторfovывание и выравнивают дно болота. При поперечном уклоне более 100% на дне болота устраивают уступы или взрывают его взрывами.

Иногда с низовой стороны насыпи отсыпают каменную упорную призму, удерживающую насыпь от сползания.

Насыпи на болотах отсыпают из дренирующих грунтов. При отсутствии их в районе строительства или значительной дальности возки в нижней части насыпи используют глинистые грунты, при условии отсыпки их в сухой котлован и уплотнении.

При выборе искусственных сооружений на болотах предпочтение отдают мостам. Наиболее целесообразно располагать их у края болота, что уменьшает и упрощает работы по устройству опор и возведению насыпи на подходах.

2.2 Принципы принятия проектных решений на участках залегания слабых грунтов

При проектировании автомобильных дорог на участках залегания слабых грунтов, по результатам предварительно выполненных прогнозов устойчивости основания, величины и длительности осадки с учетом особенностей проектируемой дороги прорабатывают несколько конкурентоспособных вариантов конструкторско-технологических решений. Оптимальный вариант устанавливают путем технико-экономического сравнения. Принципиальной основой выбора технических решений является выявление факторов, представляющих наибольшую опасность для работы дорожной конструкции в конкретном случае и установлении мероприятий, нейтрализующих эти факторы или снижающих их влияние. Целью различных конструктивных решений и технологических мероприятий могут быть:

- Группа А – повышение устойчивости основания насыпи;
- Группа Б – ускорение достижения допустимой интенсивности осадки;
- Группа В – исключение недопустимых упругих колебаний.

Для первого типа оснований могут применяться решения групп Б и В. Для второго типа оснований – А. Для третьего типа оснований – решения всех групп.

2.3 Расчет земляного полотна на слабом основании

Под устойчивостью насыпи на слабом основании подразумевается отсутствие боковых сдвигов и выпирания грунтов, характеризующихся небольшими значениями сцепления и угла внутреннего трения. Возникающие в них касательные напряжения не должны превышать сопротивление грунтов сдвигу.

В качестве показателя устойчивости насыпи на слабом основании используется коэффициент безопасности, рассчитываемый по формуле:

$$K_{без} = P_{без}/P_{расч}, \quad (2.1)$$

где $P_{без}$ – безопасная нагрузка на основание, МПа;

$P_{расч}$ – расчетная нагрузка на основание, МПа.

Коэффициент безопасности должен быть не меньше 1. Его определяют для двух схем приложения нагрузки к слабому основанию:

- 1) быстрая отсыпка насыпи на полную высоту с учетом ее возможной осадки;
- 2) медленная отсыпка насыпи, в процессе которой в результате уплотнения и уменьшения влажности грунтов возрастают их прочностные характеристики.

Для каждого из этих режимов определяются свои значения безопасной и расчетной нагрузок.

Устойчивость основания в его природном состоянии в зависимости от результатов оценки 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).

Безопасная нагрузка для условий быстрой отсыпки насыпи определяется по формуле:

$$P_{без\ нач} = [(C_{нач} + \gamma_{ср} \cdot tg \varphi_{нач})] / \beta, \quad (2.2)$$

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

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

Z – глубина рассматриваемого горизонта от поверхности земли;

β – коэффициент, устанавливаемый по графикам ПРИЛОЖЕНИЯ 1 для трапецеидальной формы эпюры нагрузки 2а/В и относительной глубины Z/b .

Расчетная нагрузка от насыпи трапецеидальной формы определяется по формуле:

$$P_{расч} = \gamma_n (h_{n\ расч} + S_{кон}), \quad (2.3)$$

где γ_n – удельный вес грунта насыпи;

$S_{кон}$ – конечная осадка насыпи;

$h_{расч}$ – расчетная высота насыпи.

Если соблюдается условие:

$$K_{без\ нач} = P_{без\ нач} / P_{расч} > 1, \quad (2.4)$$

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

Статический расчет прочности дорожной одежды и земляного полотна

Расчет прочности дорожной одежды производится согласно [2] из условия, что упругий вертикальный прогиб на поверхности покрытия не превышает предельно допустимых значений. Требуемое значение модуля упругости на поверхности насыпи E (рисунок 2.7) определяется по таблице 2.3[1] на основе известных отношений

$$H_{до} / D \text{ и } E_{общ} / E_{ср.до} \quad (2.5)$$

где $H_{до}$ - толщина дорожной одежды, см;

D - диаметр отпечатка расчетного автомобиля, см;

$E_{общ}$ - общий модуль упругости на поверхности покрытия, МПа;

$E_{ср.до}$ - средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды, МПа,

$$E_{ср.до} = \frac{E_1 h_1 + E_2 h_2 + \dots + E_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} = \sum_1^n \frac{E_i h_i}{H_{до}}, \quad (2.6)$$

E_1, E_2, \dots, E_n - модули упругости конструктивных слоев дорожной одежды, МПа;

h_1, h_2, \dots, h_n - толщина конструктивных слоев дорожной одежды, см.

Проектируемая насыпь на основании из болотного грунта должна иметь достаточную толщину, чтобы обеспечить заданную прочность дорожной одежды. Соблюдение этого требования возможно, если фактический модуль упругости системы «насыпь - болотный грунт»

равен требуемому модулю упругости ($E_{общ\cdot треб}$), полученному по результатам расчета дорожной одежды. Фактический модуль упругости на поверхности насыпи системы «насыпь - болотный грунт» определяется по формуле

$$E_{общ}^h = \frac{E_h E_T}{E_T m + E_h K n \eta} \quad (2.7)$$

где E_h - модуль упругости грунтов насыпи, принимаемый по таблице 2.4, МПа;

E_T - модуль упругости болотного грунта, допускается определять по экспериментальной зависимости $E_T = f(\rho_d; \lambda_{сж})$, приведенной на рисунке 2.8 (ρ_d - плотность торфа в природном залегании, $\text{г}/\text{см}^3$; $\lambda_{сж}$ - относительная деформация сжатия торфа, уплотненного массой насыпи);

m - коэффициент, учитывающий относительную толщину насыпного слоя h_h / D , (таблица 2.1);

K - комплексный коэффициент, учитывающий конечные размеры слоя торфа и распределющую способность насыпи (рисунок 2.9);

n - коэффициент, принимаемый по таблице 2.2 [1];

η - коэффициент изменения контактного напряжения в слоях различных жесткостей, зависящий главным образом от отношения жесткостей, выражаемых модулями упругости (рисунок 2.10).

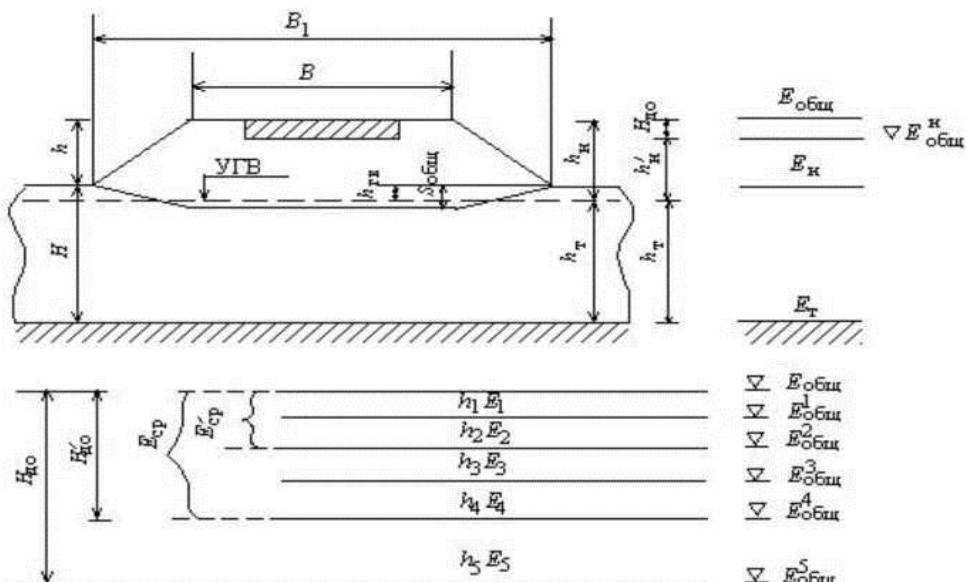


Рисунок 2.7 - Расчетная схема

Т а б л и ц а 2.1 - Коэффициент m

h/D	0,2	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
h/D	0,100	0,400	0,650	0,761	0,817	0,854	0,875	0,892
m	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0
m	0,907	0,925	0,938	0,953	0,963	0,968	0,977	0,988

таблице 2.1 h'_h - толщина насыпного слоя, исчисляемая от низа дорожной одежды до подошвы насыпи (см. рисунок 2.7), которая определяется по формуле

$$h'_h = h + S_{общ} - H_{до} \quad (2.8)$$

где h - высота насыпи (рабочая отметка);

$S_{общ}$ - общая осадка слабого основания,

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{сж}} + S_{\text{отд}} \quad (2.9)$$

где $S_{\text{сж}} + S_{\text{отд}}$ - осадка сжимающихся (уплотняющихся) и отдавливаемых слоев болотной залежи соответственно, м;

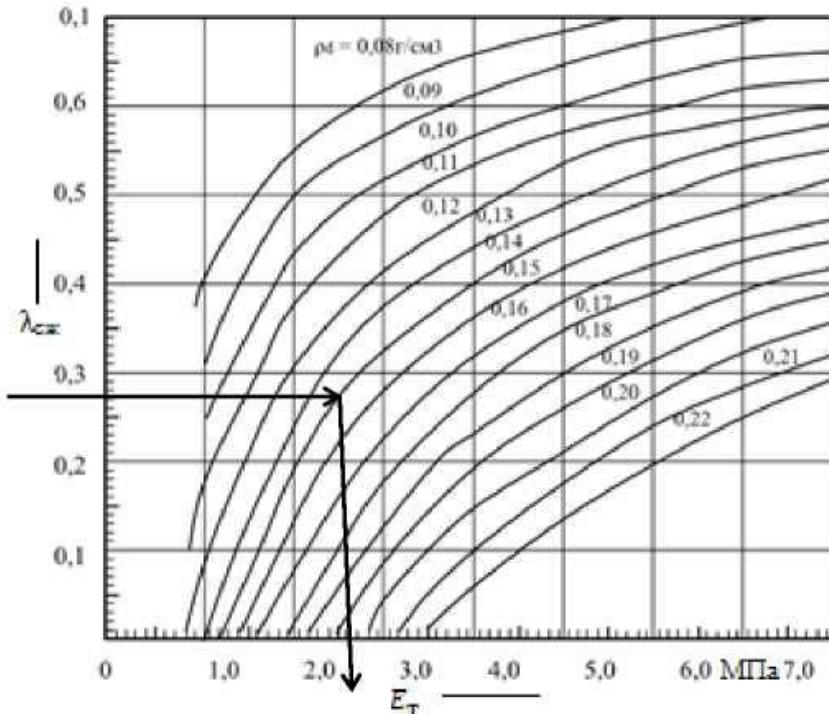


Рисунок 2.8 Номограмма для определения модуля упругости торфяного основания

Осадка отдавливаемых слоев болотной залежи происходит за счет выдавливания (выпора) слабых грунтов при любой скорости отсыпки насыпи, частичного выдавливания грунтов типа III (см. таблицу 2.1) [1] при невозможности их предварительного уплотнения в течение строительного периода вследствие того, что в силу их высокой сжимаемости и низкой прочности нагрузка от возводимой насыпи растет быстрее, чем упрочнение слабого грунта, боковая деформация слабых грунтов строительного типа II (см. таблицу 2.1) [1] при интенсивности отсыпки насыпи в первые 10 суток более 2,0 м.

Осадка отдавливаемых слоев болотной залежи

$$S_{om} = \sum_1^n \lambda_{i om} h_i \quad (2.10)$$

где $\lambda_{i от}$ - относительная деформация i -го отдавливаемого слоя толщиной h_i ;
 n - количество расчетных слоев болотной залежи.

Относительная деформация определяется по таблице 2.7[1] в зависимости от значений сопротивления сдвигу τ по крыльчатке расчетного слоя в природном залегании.

Осадка сжимающихся слоев болотной залежи

$$S_{сж} = \sum_1^n \lambda_{i сж} (h_i - S_{i om}) \quad (2.11)$$

где $\lambda_{i сж}$ - относительная вертикальная деформация расчетного слоя, полученная по данным испытаний в компрессионном приборе для нагрузки, действующей на этот слой. При отсутствии данных компрессионных испытаний допускается пользоваться номограммой (рисунок 2.11), построенной на основе обобщений результатов обработки многочисленных компрессионных кривых. В качестве характеристики сжимаемости болотной залежи принимает-

ся коэффициент пористости e_0 .

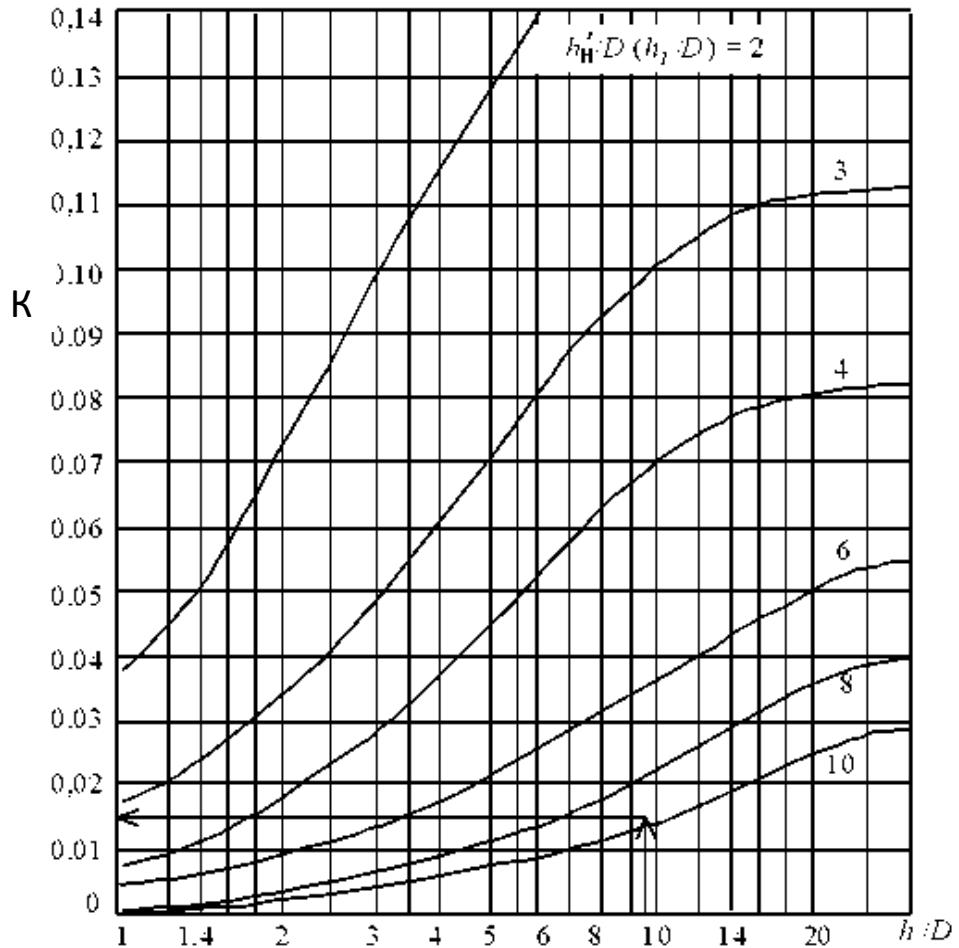


Рисунок 2.9 – График для определения коэффициента К

Номограмма связывает четыре параметра: K_o , P_o , $\lambda_{сж}$ и e (средневзвешенное значение коэффициента пористости для болотной залежи) - позволяет путем одного наложения линейки, соединяющей две точки на шкалах K_o и P_o в точке пересечения линии с заданным e_0 найти искомое значение $\lambda_{сж}$ (см. подразд. 2.4) [1].

Таблица 2.2 – Коэффициент n

h / D	$< 2,5$		3,0	3,5	4,0	4,5	$> 5,0$
n	5		4	3	2	1,5	1,3

При расчете осадки слабое основание разбивается на расчетные слои в соответствии с геологическим строением, прочностью и деформативными свойствами слабых грунтов и значением действующих вертикальных напряжений по глубине. Расчетная нагрузка $P_{расч}$, действующая на болотную залежь от массы возводимой насыпи, определяется с учетом положения уровня грунтовых вод

$$P_{расч} = K_0 \lambda_{сж} + P_0 \quad (2.12)$$

где K_0 , P_0 – параметры расчетной нагрузки;

$\lambda_{сж}$ – относительная осадка сжатия основания.

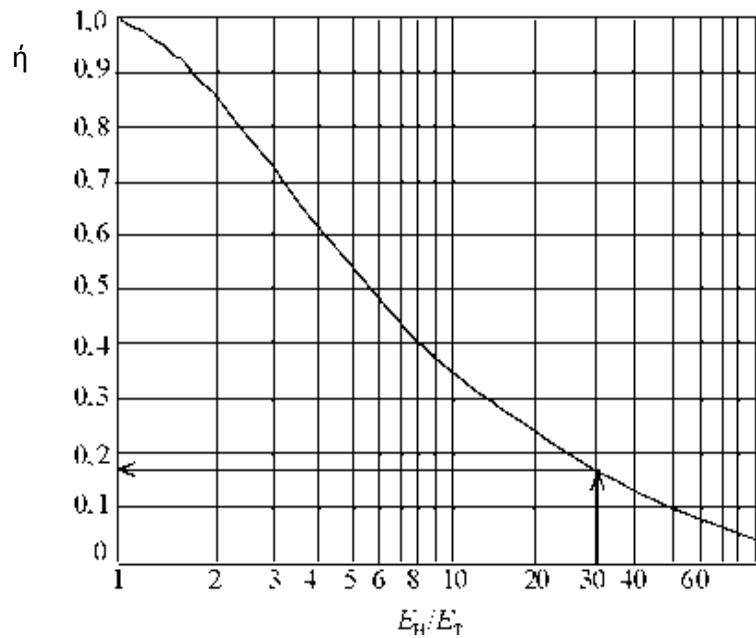


Рисунок 2.10 – График для определения коэффициента $\dot{\eta}$

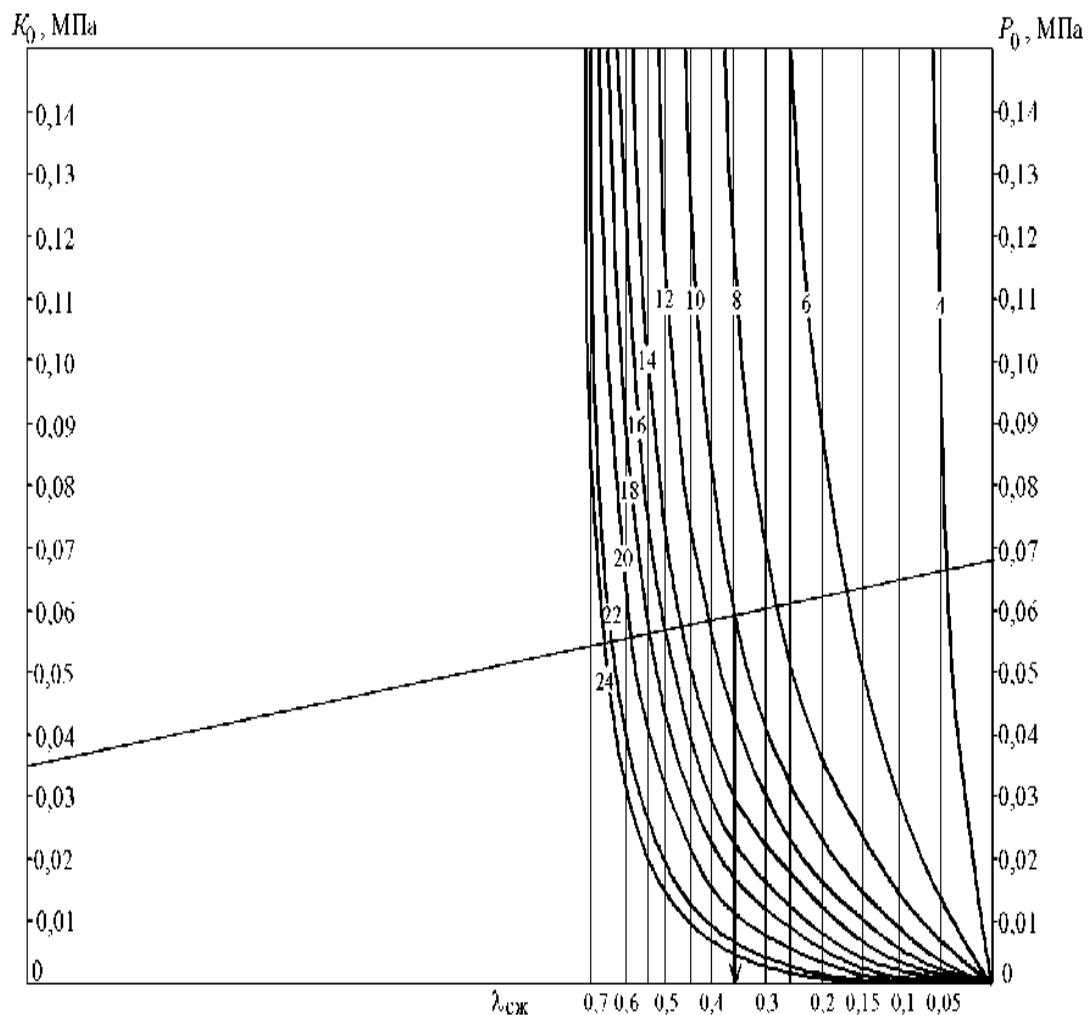


Рисунок 2.11 - Номограмма для определения осадки торфяных грунтов (цифры на кривых - коэффициент пористости e)

Параметры нагрузки K и P_0 определяются по следующим формулам:

$$K_0 = \rho_h^{636} H (1 - \lambda_{jn}) \quad (2.13)$$

$$P_0 = \rho_y (h + h_{ce}) + \rho_h^{636} (H \lambda_{om} - h_{ce}) \quad (2.14)$$

где ρ и ρ_h^{636} - плотность грунта насыпи, расположенного выше и ниже уровня грунтовых вод соответственно;

H - глубина болота;

h - проектная высота насыпи (рабочая отметка);

h_{ra} - расстояние от поверхности болота до горизонта грунтовых вод (см. рисунок 2.7).

$$\lambda_{cjk} = \frac{S_{cjk}}{H - S_{om}} \quad (2.15)$$

$$\lambda_{om} = \frac{S_{om}}{H} \quad (2.16)$$

Относительная осадка сжимающихся и отдавливаемых слоев болотной залежи определяются по Формулам

Если $h_{tb} > S_{общ}$, то в формулах (2.8) и (2.9) принимается $\rho_h^{636} = \rho_h$.

Таблица 2.3 - Относительная деформация

т, МПа	х от	т, МПа	х от	т, МПа	х от
0,001	1,00	0,006	0,55	0,011	0,20
0,002	1,00	0,007	0,45	0,012	0,15
0,003	1,00	0,008	0,37	0,013	0,10
0,004	0,82	0,009	0,30	0,014	0,05
0,005	0,67	0,010	0,25	0,15	0,00

Учитывая, что толщина и модуль упругости торфа под насыпью зависят от толщины насыпного слоя, которая подлежит определению, расчет производится методом последовательного приближения. Высота насыпи h принимается по условиям проектирования продольного профиля, соблюдения требований водно-теплового режима, снегонезаносимости и обеспечения минимальной толщины насыпи по условиям динамического расчета земляного полотна. В первом приближении высота насыпи по условиям динамического расчета принимается при капитальных, облегченных, переходных и низших типах покрытия соответственно равной, м:

- для болот глубиной до 4 м - 1,5; 1,2; 1,0;
- более 4 м - 1,0; 0,8; 0,6.

Статический расчет земляного полотна заканчивается проверкой условия $E_{общ} > E_{общ\ треб}$.

Пример4

Исходные данные.

Расчет земляного полотна на слабом основании при следующих исходных данных:
категория дороги - III;

дорожная одежда - усовершенствованная облегченного типа;

конструкция дорожной одежды:

- асфальтобетон мелкозернистый - $h_1 = 3$ см ($E_1 = 3200$ МПа),
- асфальтобетон крупнозернистый - $h_2 = 7$ см ($E_2 = 2200$ МПа),

- песчано-щебеночная смесь - $h_3 = 15$ см ($E_3 = 250$ МПа),
- песчано-гравийная смесь - $h_4 = 20$ см ($E_4 = 180$ МПа);
требуемый модуль упругости $E_{общ} = 170$ МПа;
грунт насыпи - песок мелкий ($E_n = 100$ МПа);
средняя плотность грунта насыпи и материалов дорожной одежды $p_n = 2,1$ т/м³
плотность грунта насыпи во взвешенном состоянии $p = 1,1$ т/м³;

мощность болотных грунтов:

- осоково-травяной торф - $h_1 = 0,6$ м ($\tau_1 = 0,012$ МПа),
- осоковый торф - $h_2 = 1,2$ м ($\tau_2 = 0,011$ МПа),
- осоково-гипновый торф - $h_3 = 1,8$ м ($\tau_3 = 0,014$ МПа);

Расчетный поперечник характеризуется следующими показателями: $H=360$ см; $e_0 = 10,0$; $p_d = 0,140$ г/см³; $\tau = 0,012$ МПа;
рабочая отметка насыпи - $h = 2,8$ м;
глубина залегания грунтовых вод - $h_{gw} = 0,5$ м;
параметры нагрузки $p = 0,6$; $D = 37$ см.

Расчет прочности дорожной одежды и земляного полотна. Определяем средне-взвешенный модуль упругости по формуле (2.1):

$$E_{cp,do} = \frac{3200 * 3 + 2200 * 7 + 250 * 15 + 180 * 20}{3 + 7 + 15 + 20} = 719 \text{ МПа}$$

Для отношений $E_{общ}/E_{cp} = 170/719 = 0,24$ и $H_{do}/D = 45/37 = 1,22$ по таблице 2.3[1] находим $E_{ср,до}/E_{общ,тр} = 16$. Отсюда $E_{общ,тр} = 719/16 = 45$ МПа.

Таким образом, требуемый общий модуль упругости на поверхности насыпи равен 45 МПа.

По формуле (2.10) производим расчет осадки $S_{от}$. Для определения λ_i от используем таблицу 2.3. Результаты сведем в таблицу 2.4.

Т а б л и ц а 2.4. - Результаты расчетов

h_i , м	τ , МПа	λ_i от	$S_{i,от} = \lambda_i h_i$
0,6	0,012	0,15	$0,6 \cdot 0,15 = 0,09$
1,2	0,011	0,20	$1,2 \cdot 0,20 = 0,24$
1,8	0,014	0,05	$1,8 \cdot 0,05 = 0,09$
$\Sigma h_i = H = 3,6$ м	-	-	$S_{от} = \Sigma (\lambda_i h_i) = 0,42$ м

Расчет осадки $S_{сж}$ производим по формуле (2.11). Относительную деформацию сжатия $\lambda_{сж}$ определяем по номограмме, приведенной на рисунке 2.11. Предварительно определяем параметры $\lambda_{от}$, K_0 и P_0 по формулам (2.16), (2.13) и (2.14)

$$\lambda_{от} = 0,42 / 3,6 = 0,117;$$

$$K_0 = 0,01 \cdot 1,1 - 3,6(1 - 0,117) = 0,035 \text{ МПа};$$

$$P_0 = 0,01 \cdot [2,1(2,8 + 0,5) + 1,1(3,6 \cdot 0,117 - 0,5)] = 0,068 \text{ МПа}.$$

По номограмме (см. рисунок 2.11) определяем $\lambda_{сж} = 0,35$.

Тогда

$$S_{сж} = 0,35(3,6 - 0,42) = 1,113 \text{ м.}$$

По формуле (2.4) определяем общую осадку слабого основания

$$S_{общ} = 0,42 + 1,113 = 1,533 = 1,53 \text{ м.}$$

Толщину насыпного слоя, исчисляемую от низа дорожной одежды до подошвы насыпи, вычисляем по формуле

$$h_n' = 2,8 + 1,53 - 0,45 = 3,88 \text{ м}$$

Фактический модуль упругости на поверхности насыпи системы «насыпь - болотный грунт» вычисляем по формуле (2.7). Предварительно определяем все параметры, входящие в формулу. Модуль упругости торфа находим по номограмме, приведенной на рисунке 2.8 в зависимости от $\lambda_{сж} = 0,35$ и $\rho_d = 0,140 \text{ г/см}^3$ (см. исходные данные), $E_t = 3,35 \text{ МПа}$. По таблице 2.1 при $h_n' = 3,88 \text{ м}$ (4 м) принимаем значение коэффициента $m = 0,907$. По графику, приведенному на рисунке 2.9, при $h_n' / D = 3,88 / 0,37 = 10,5$ и $h_t / D = 3,6 / 0,37 = 9,7$ определяем значение комплексного коэффициента, учитывающего конечные размеры слоя торфа и распределющую способность насыпи $K=0,015$. По таблице 2.4[1] принимаем модуль упругости грунта насыпи $E_n = 100 \text{ МПа}$ (песок мелкий) и по графику, приведенному на рисунке 2.10, определяем коэффициент изменения контактного напряжения в слоях различных жесткостей, $\dot{\gamma} = 0,17$ ($E_n / E_t = 100 / 3,35 = 29,9$). По таблице 2.2 при $h_n' / D = 3,88 / 0,37 = 10,5$ принимаем значение коэффициента $n = 1,3$. Вычисляем фактический модуль упругости на поверхности насыпи

$$E_{общ}' = \frac{100 \cdot 3,35}{3,35 \cdot 0,907 + 100 \cdot 0,015 \cdot 1,3 \cdot 0,17} = 99,4 \text{ МПа}$$

Полученный модуль упругости на поверхности насыпи $E_{общ}' = 99,4 \text{ МПа}$ больше требуемого $E_{общ_тр} = 45 \text{ МПа}$, следовательно, принятая толщина насыпи обеспечит прочность дорожной одежды.

3. ТРАССИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

3.1. Продольный профиль горных дорог

Из-за частых изменений рельефа склонов рабочие отметки земляного полотна существенно меняются на малом протяжении дороги. Поэтому при проектировании дорог в горной местности положение земляного полотна следует контролировать по поперечным профилям, добиваясь, чтобы при заданном уклоне проектной линии достигалось устойчивое положение земляного полотна без устройства подпорных стен с преимущественным расположением его на полке.

При постоянной отметке оси дороги в зависимости от ее положения по отношению к косогору, стоимость земляного полотна меняется в значительной степени. Однако соображения обеспечения устойчивости насыпной части полунасыпи-полувъемки, особенно в сейсмических районах, вынуждают при проектировании горных дорог отдавать предпочтение расположению земляного полотна на полке. Следует также избегать такого расположения проектной линии, которое требует устройства на большом протяжении подпорных стен, строительство которых очень трудоемко.

На косогорных участках при изысканиях снимают поперечные профили во всех характерных местах изменения рельефа с тем, чтобы на камеральном этапе проектирования по ним можно было построить план местности- в горизонталях и уточнить по нему положение дороги.

При нанесении проектной линии предельными продольными уклонами необходимо

уменьшать их значения на участках кривых малых радиусов в плане, поскольку сопротивление движению автомобилей на кривых возрастает в связи с дополнительными затратами мощности двигателя.

На пересечениях глубоких горных долин и ущелий следует сравнивать варианты устройства перекрывающих долину эстакад или арочных виадуков и высоких насыпей с трубами под ними. В последнем случае при назначении отверстий учитывают особенности режимов горных водотоков - перенос корчей, возможность селевых выносов и т. д.

На затяжных спусках горных дорог иногда происходят аварии, связанные с отказами тормозов автомобилей. В тех случаях, когда позволяет рельеф местности, необходимо предусматривать противоаварийные (тормозные) съезды.

3.2. Мероприятия по повышению устойчивости оползневых массивов

Предусматриваются следующие схемы:

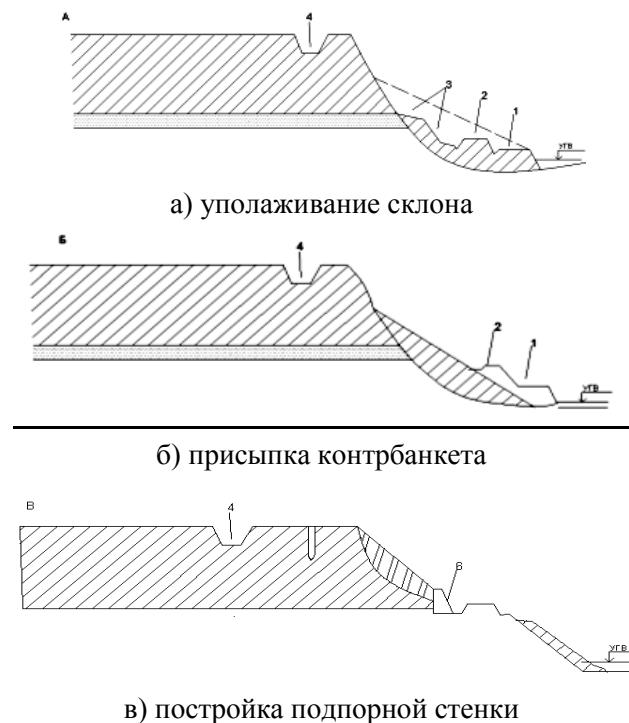


Рисунок 3.1. 1-контрбанкет; 2-дорога; 3) частичная срезка для разгрузки склона; 4) ограждающая канава; 5) перехватывающий дренаж; 6) подпорная стенка

3.3. Проложение трассы дороги на участках осыпей и камнепадов

При трассировании дороги, по долинам горных рек, часто пересекают осыпи. Осыпь – отложение мелкообломочных продуктов распада, сильно подверженных выветриванию горных пород.

Осыпи скапливаются у подошвы склонов в виде валов или конусов, состоящих из природного щебня с небольшой примесью грунтовых частиц.

В зависимости от интенсивности поступления материалов различают осыпи:

- действующие, рост которых продолжается;
- затухающие, зарастают травой и кустарником.

Даже заросшие осыпи находятся в состоянии неустойчивого равновесия. Подрезка нижней части осыпи выемкой может привести ее в движение.

При трассировании дорог неподвижные осыпи следует обходить, однако если это воз-

можно, необходимо предусмотреть мероприятия для обеспечения устойчивости з.п.

Таблица 1 – Степень подвижности осыпи

Степень по- движности		Подвижная живая	Слабопо- движная	Относительно непо- движная
Коэффициент подвижности		0,7-1	0,5-0,7	0,5

Осыпи с коэффициентом подвижности менее 0,5 могут быть использованы для размещения з.п. в насыпях без дополнительных сооружений. При действующей осыпи (живая) перед дорогой возводят улавливающую стенку для задерживания и накапливания обсыпающихся обломков. Стенки устраивают из сухой осыпи высотой 1,5-2м, при глубине заложения не менее 0,5м.

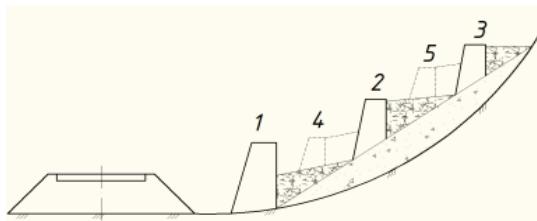


Рисунок 3.2 – Защита дороги от действующей осыпи.

Материалы осыпи можно использовать для отсыпки насыпи, а если они удовлетворяют требованию к прочности каменных материалов, то и для устройства дорожной одежды и приготовления бетона.

В ряде случаев, при малом объеме накопившемся в осыпи материале, целесообразнее убрать осыпь, используя её материал для отсыпки насыпи.

Многие участки горных дорог подвержены обвалам, причиной обвалов является чрезмерная крутизна склонов.

Обвалам способствует:

- разрушение г.п. процессами выветривания;
- подрезка наклонных пластов при устройстве земляного полотна;
- трещиноватость проезжей части;
- сейсмические толчки и др.

На участках, где обвалы и камнепады наиболее вероятны для защиты. Для защиты от крупных камней ячейка 5+5см, около дороги устраивают улавливающие рвы с валом или улавливающие стенки

- а) улавливающая стенка
- б) с устройством улавливающего рва и насыпного вала.

Размеры улавливающего рва и улавливающей стенки назначают по методу, использованному на расчетах траектории движения камня, скатающегося с подскакиванием по склону с ломанным поперечным рельефом.

3.4. Подпорные стенки, каменные низовые банкеты

На крутых склонах при устройстве насыпей на косогорах объем земляных работ существенно увеличивается.¹⁹⁾, а насыпная часть земляного полотна неустойчива. При уклонах косогора до 1:5 для повышения устойчивости до отсыпки грунта устраивают уступы, а при крутизне до 1:2-1:3 упорные банкеты. При большей крутизне устраивают *подпорные стены* из железобетона, бетона или каменной кладки.

а) с устройством каменного низового банкета; б) с подпорной стеной

Расчеты подпорных стен ведут на устойчивость против опрокидывания и против сдвига боковым давлением грунта.

Глубину заложения фундаментов подпорных стен принимают не менее 0,25м в скальных породах, 0,5м в дренирующих неводонасыщенных грунтах и не менее половины глубины промерзания в переувлажненных грунтах.

Железобетонные подпорные стены уголкового профиля с вертикальной стенкой переменной толщины и с наклонной фундаментной плитой удобны при монтаже. Их использование устраниет необходимость в применении ручного труда, неизбежного при строительстве стен из каменной кладки. Находят применение подпорные стены ряжевого типа из железобетонных элементов, заполняемые камнем.

Широкое распространение в ряде стран получили подпорные стены из «армированного грунта». Длину полос устанавливают по расчету. Для засыпки применяют крупнозернистые, хорошо фильтрующие материалы, угол внутреннего трения которых не меняется при изменении влажности, а проникшая вода просачивается, не задерживаясь.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРПАНТИН

4.1. Условия применения серпантин

Трассирование автомобильной дороги в горной местности в условиях сильно пересеченного рельефа или глубоких складок рельефа по склонам местности связано с необходимостью углов поворота, превышающих 90°. При вписывании закруглений в такие углы возникают большие трудности в соблюдении нормативных величин радиуса кривых в плане допустимого продольного уклона. Преодоление таких затруднений возможно при описании кривых оси трассы вокруг вершины угла поворота. Такой прием позволяет увеличить протяженность трассы и тем самым уменьшить величину максимального продольного уклона на участке закругления в плане.

Серпантин - вид кривой в плане, описываемой с внешней стороны угла поворота трассы между двумя её направлениями, сходящимися под острым углом, или, участок плана трассы с расположением его оси с внешней стороны угла поворота.

Серпантин – сложное инженерное сооружение, позволяющее в ряде случаев проложить трассу с меньшими капитальными затратами. Вместе с тем принимать решение о проложении трассы автомобильной дороги с помощью серпантин необходимо после технико-экономического сравнения с возможным расположением трассы по кардинально различающимся вариантам проложения трассы дороги.: глубокого обхода крутого склона с возможностью проложения трассы в тоннеле, с расположением глубоких выемок или с устройством балконов либо эстакадных сооружений и др.

При этом необходимо, во-первых, сравнивать только конкурентоспособные варианты; во-вторых, учитывать не только капитальные, но и текущие затраты на содержание, а также потери народного хозяйства от дорожно-транспортных происшествий и изменения транспортных затрат на перевозку грузов и пассажиров. Кроме того, следует учитывать перспективу развития транспортных связей на период не менее 20 лет с целью исключения необходимости реконструкции проектируемой дороги с использованием перетрассировки.

В целом проектировать серпантину необходимо с использованием всех рекомендаций проектирования автомобильных дорог в горах с учетом геологических, гидрологических, климатических и экологических особенностей района проектирования дороги. Учитывая

значительное снижение скоростей движения транспортных средств по серпантинам, при проектировании последних необходимо особо обращать внимание на обеспечение безопасности движения. На рис. 5 представлена схема общего вида серпантинны.

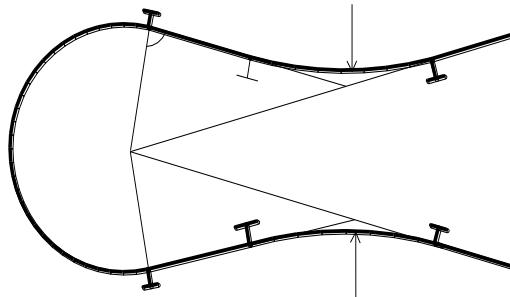


Рисунок 4.1. Вид симметричной серпантинны 1-го ряда

4.2 Общие рекомендации изысканий и проектирования серпантин

Согласно действующим СП 34.13330.2012 величину максимального продольного уклона назначают по табл. 1

Таблица 1

Параметры элементов серпантинны	Нормы проектирования при расчетной скорости движения, км/час		
	30	20	15
Наименьший радиус кривой в плане, м	30	20	15
Поперечный уклон проезжей части на вираже, %	60	60	60
Длина переходной кривой, м	30	25	20
Уширение проезжей части, м	2,2	3,0	3,5
Наибольший продольный уклон в пределах серпантин, %	30	35	40

Необходимо также помнить, что значения табл.1 соответствуют применению минимальных величин радиусов кривых в плане. С этой целью шаг напряженного хода должен быть разной величины, подсчитанной по следующей формуле

$$l = \frac{\Delta h}{i_d * 1000}, \quad (4.1)$$

где Δh – сечение плана горизонталами в м;

l – шаг напряженного хода;

i_d - величина допустимого продольного уклона.

Назначать вершины углов поворота (основной кривой) следует преимущественно в местах расположения “разряжения” горизонталей. Именно в этом случае удается запроектировать серпантину с минимальными нарушениями поверхности склона.

Расстояния между концами сопрягаемой кривой одной серпантинны и началом сопрягающей кривой последующей серпантинны следует принимать возможно большими, но не менее 400 м. для дорог II и III категорий, 300 м. для дорог IV категории, 200 м. для дорог V категории.

Развитие плана трассы автомобильной дороги с использованием серпантин связано с уменьшением скорости движения, поэтому такой прием недопустим при проектировании дорог I –категории

К положительным условиям эксплуатации трассы, проложенной с использованием сер-

пантин, следует отнести более гармоничное сочетание с рельефными и ландшафтными особенностями района проектирования, лучший водоотвод, требующий использования менее сложных инженерных сооружений, меньшее нарушение естественных откосов, что обеспечивает большую надежность и простоту эксплуатации запроектированного участка дороги.

В общем случае СЕРПАНТИНА состоит из основной кривой, двух вспомогательных кривых и двух прямых вставок, устраиваемых между основной и вспомогательными кривыми [27].

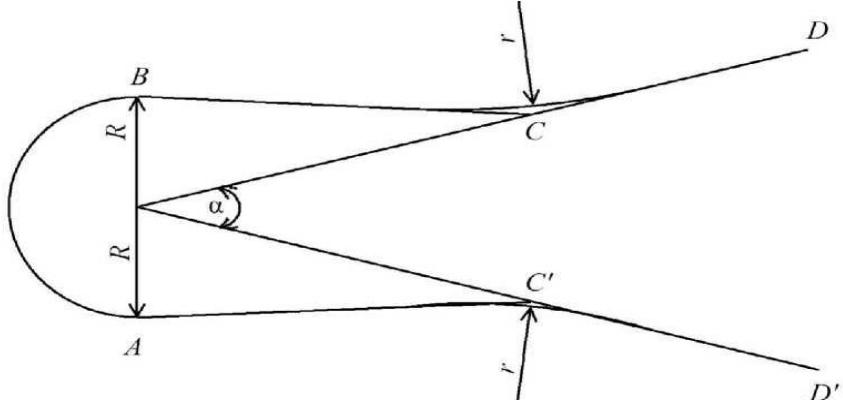


Рисунок 4.2. Серпантин первого рода

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

Серпантиной первого рода называют сопряжение, состоящее из основной кривой AB , двух вспомогательных кривых BCD и $AC'D'$, направленных выпуклостями в разные стороны (рис. 1.9). *Серпантиной второго рода* называют сопряжение, состоящее из основной кривой EE' и двух вспомогательных кривых, направленных выпуклостями в одну сторону (рис. 1.10).

Серпантину первого рода называют *симметричной*, если основная кривая описана одним радиусом и её центр расположен на биссектрисе острого угла. Если же радиусы вспомогательных кривых не равны и основная кривая состоит из нескольких дуг, описанных различными радиусами, или её центр не расположен на биссектрисе угла, то такую серпантину первого рода называют *несимметричной*.

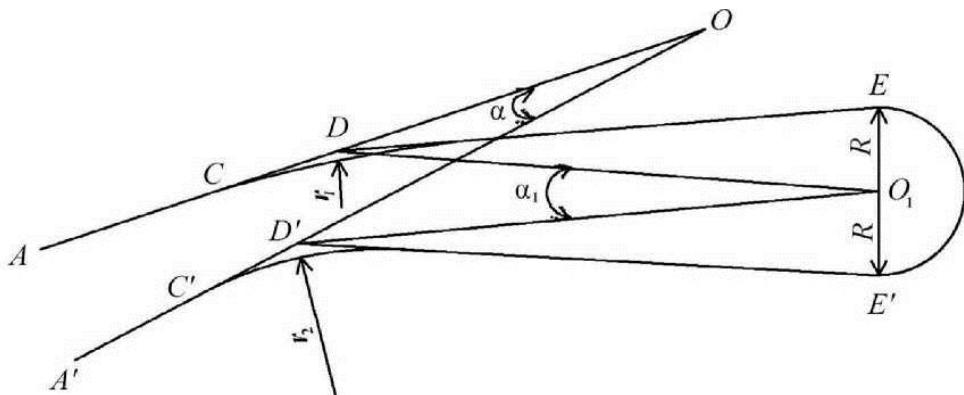


Рисунок 4.3. Серпантин второго рода

Во многих случаях оказывается целесообразным назначить центр серпантини не в точке пересечения её ветвей, а в некоторой другой точке, удалённой от первой на то или иное расстояние, совершенно независимо от направления ветвей серпантини. В результате

такого перемещения может быть повышена устойчивость земляного полотна, уменьшены объёмы земляных работ и протяжение подпорных стенок или вообще можно избежать устройства последних.

Основные элементы серпантин должны назначаться в соответствии с рекомендациями СП 34.13330.2012 [5]. Во всех случаях разбивки серпантини следует иметь план местности в горизонталях крупного масштаба, на котором путём нанесения нескольких вариантов проложения трассы находят наиболее экономичное расположение серпантини, а затем уже по окончательно выбранному варианту разбивают серпантину на местности.

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРПАНТИНЫ ПЕРВОГО РОДА

На косогорах с однообразными склонами разбивка серпантин может быть произведена и без съёмки плана в горизонталях, но с детальным обследованием местности в натуре. Наибольшее распространение получили серпантини первого рода с переходными кривыми, заменяющими вставки между основной и вспомогательной кривыми при скоростях движения выше 20 км/ч.

Расчёт симметричных серпантин первого рода с переходными кривыми ведут в четырёх этапа:

- определение элементов переходных кривых у основной круговой и двух вспомогательных.
- определение элементов серпантини (углы построения, тангенс серпантини, длина серпантини, главные точки серпантини и др.).
- проверка возможности размещения земляного полотна двух вспомогательных кривых.
- решение вопроса водоотвода, обустройства и обеспечение безопасности движения.

Геометрические элементы серпантини показаны на схеме (рис. 7).

Для расчётов серпантини необходимо иметь α - угол поворота трассы; принять R - радиус основной кривой, r - радиус вспомогательной кривой, L - длину переходной кривой для основной кривой, I - длину переходной кривой для вспомогательных кривых.

5.1 Определение элементов переходных кривых у основной кривой.

Радиус основной кривой R и длину переходной кривой L назначают по рекомендациям СП 34.13330.2012 [5].

Сначала вычисляют параметр переходной кривой (клоиды):

$$C_o = RL \quad (5.1)$$

Далее определяют координаты точки конца переходной кривой по формулам

$$\begin{cases} X_0 = L - \frac{L^5}{40C_0^2} \\ Y_0 = \frac{L^3}{6C_0} - \frac{L^7}{336C_0^3} \end{cases} \quad (5.2), (5.3)$$

Затем находят величину угла, стягивающего дугу, в пределах которой часть круговой кривой радиуса R заменяется клоидой длиной L . Угол, измеряемый в радианах, находят по формуле

$$\Delta = \frac{L}{2R}. \quad (5.4)$$

Чтобы перевести радианы в градусы, следует воспользоваться зависимостью

$$\Delta = \frac{180^0 L}{2\pi R}. \quad (5.5)$$

Для того чтобы радиус R с введением переходной кривой остался без изменения, необходимо ввести фиктивную круговую кривую радиусом

$$R_1 = R + U \quad (5.6)$$

где

$$U = Y_0 + R \cos \Delta - R \quad (5.7)$$

Далее, находят расстояние от начальной точки переходной кривой до начала основной круговой кривой.

$$m_1 = X_0 - R \sin \Delta \quad (5.8)$$

5.2 Определение элементов переходных кривых у вспомогательных кривых.

Вычисляют параметр переходной кривой (клоноиды)

$$C_e = rl \quad (5.9)$$

Находят координаты конечной точки переходной кривой.

$$\begin{cases} X_e = l - \frac{l^5}{40C_e^2} \\ Y_e = \frac{l^3}{6C_e} - \frac{l^7}{336C_e^3} \end{cases} \quad (5.10)$$

Определяют величину угла, стягивающего дугу, в пределах которой часть вспомогательной круговой кривой радиусом r заменяется клоноидой длиной l .

Угол, измеряемый в радианах, находят по формуле

$$\delta = \frac{l}{2r} \quad (5.11)$$

Чтобы перевести радианы в градусы, следует воспользоваться зависимостью

$$\delta = \frac{180^0 l}{2\pi r} \quad (5.12)$$

Для того чтобы радиус R с введением переходной кривой остался без изменения, необходимо ввести фиктивную круговую кривую радиусом

$$r_1 = r + u \quad (5.13)$$

где

$$u = Y_e + r \cos \delta - r \quad (5.14)$$

Далее, находят расстояние от конца вспомогательной круговой кривой до начальной точки переходной кривой.

$$m_2 = X_e - r \sin \delta \quad (5.15)$$

5.3 Расчёт элементов построения серпинки

Определение элементов серпинки начинают с вычисления центрального угла вспомогательной кривой в (рис. 5.1). Из прямоугольного треугольника NOF , построенного на точках O (вершина угла серпинки), N (вершина угла, в который вписана вспомогательная кривая) и F (точка сопряжения круговой кривой радиусом R_1 с прямой вставкой m_1), следует

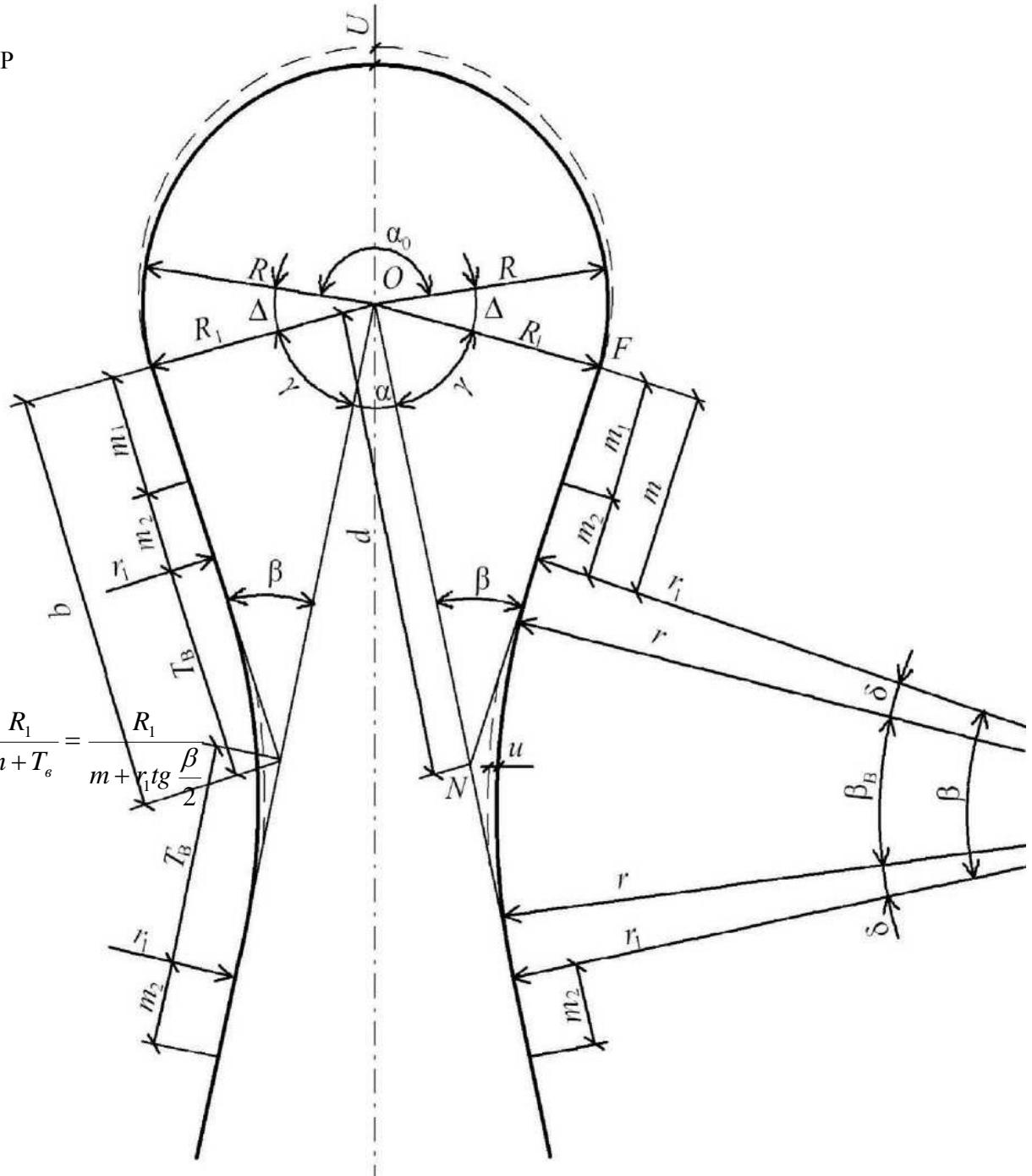
$$\tan \beta = \frac{R_1}{m + T_e} \quad (5.16)$$

где T_B - тангенс вспомогательной кривой, определяемый в соответствии с правилами разбивки кривой по зависимости

$$T_{\epsilon} = r_1 t g \frac{\beta}{2} \quad (5.17)$$

$$m = m_1 + m_2 \quad (5.18)$$

Подставив (1.16) в (1.15), получают равенство



ису-
нок
5.1.
Раз-
би-
воч-
ный
чер-
тёж
сим-
мет-
рич-
ной
сер-
пан-
тины
пер-
вого
рода

$$(5.19)$$

из
кото-
то-
рого
сле-
ду-
ет,

что тангенс половинного угла

$$\tg \frac{\beta}{2} = \frac{-m + \sqrt{m^2 + R_1(2r_1 + R_1)}}{2r_1 + R_1} \quad (5.20)$$

и угол

$$\beta = \frac{2 \arctg \left(\tg \frac{\beta}{2} \right) 180^0}{\pi} \quad (5.21)$$

Угол, необходимый для дополнительных построений,

$$\gamma = 90^0 - \beta \quad (4.22)$$

Далее, находят биссектрису вспомогательной кривой

$$B_e = r_1 \left(\frac{1}{\cos \beta / 2} - 1 \right) + u \quad (5.23)$$

На следующем этапе определяют расстояние от начала основной круговой кривой радиусом R_1 до вершины угла, в который вписана вспомогательная кривая (расстояние между точками N и F на рис. 8), с помощью формулы

$$b = T_e + m$$

Затем находят тангенс серпинки

$$T_c = d + T_e + m_2$$

и центральный угол основной круговой кривой после введения переходных кривых

$$\alpha_0 = 360^0 - 2(\gamma - \Delta) - \alpha$$

Длину основной круговой кривой находят по формуле

$$K_0 = \frac{\pi R \alpha_0}{180^0}$$

При назначении переходных кривых у вспомогательных кривых центральный угол β_V , соответствующий этим кривым, уменьшается на 2δ :

$$\beta_e = \beta - 2\delta$$

Тогда длина оставшейся вспомогательной круговой кривой

$$K_e = \frac{\pi r \beta_e}{180^0}$$

Полная длина серпинки

$$L_c = 2(2l + K_e + L) + K_0$$

Вычисляют расстояние от центра серпинки до вершины угла, в который вписана вспомогательная кривая, по одной из формул:

Домер серпинки

$$D_c = L_c - 2T_c$$

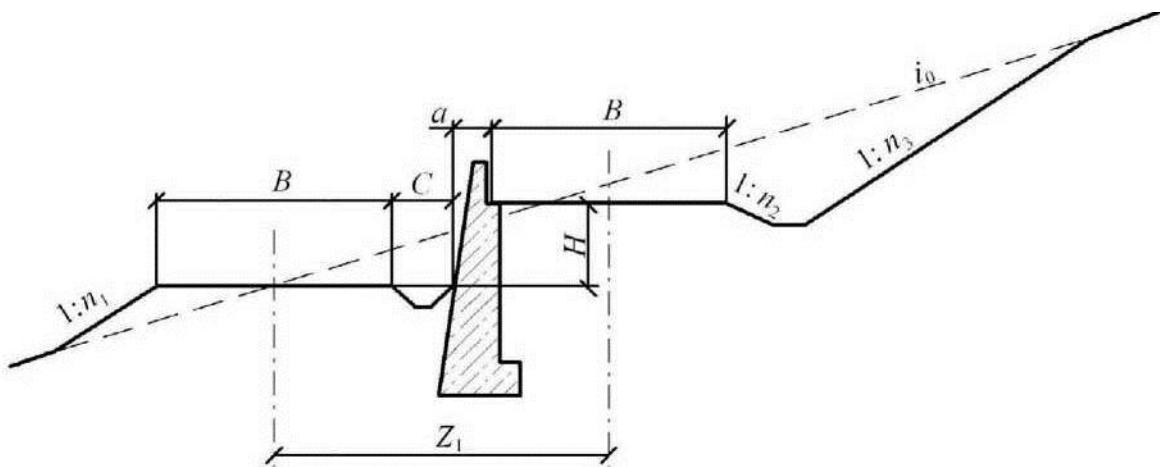


Рисунок 5.2. Минимально требуемое расстояние между ветвями серпантини

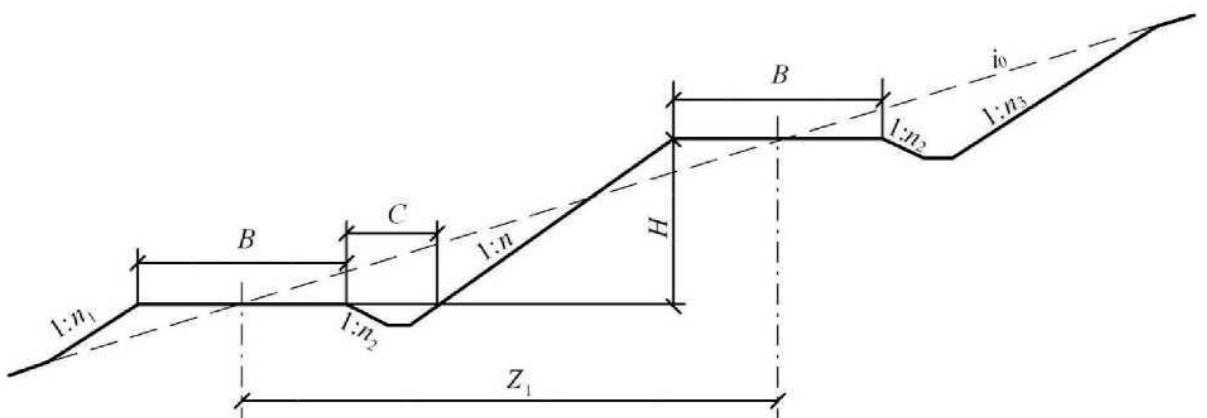


Рисунок 5.3. Минимальное расстояние между ветвями серпантини с подпорной стенкой

5.4 Размещение элементов земляного полотна в горловине серпантини.

Наименьшее расстояние между ветвями серпантини Z_1 , необходимое для размещения элементов земляного полотна верхней и нижней ветвей серпантини, называется горловиной или шейкой серпантини [22]. Оно зависит от ширины земляного полотна, типа боковых канав, поперечного уклона ската местности по линии горловины серпантини, способов сопряжения между собой верхнего и нижнего полотна дороги.

Минимально требуемое расстояние между ветвями серпантини Z_1 не должно быть меньше значения

$$Z_1 = \frac{H}{i_0}$$

где H - перепад высот верхней и нижней ветвей серпантини; i_0 - уклон ската местности по линии горловины серпантини (рис. 1.12, 1.13).

При совмещении откосов полувыемки и полусыпьи в одной вертикальной плоскости перепад высот верхней и нижней ветвей серпантини

$$H = \frac{(B + C)i_0}{1 - n i_0}$$

где B - ширина земляного полотна; C - ширина кювета поверху; n - заложение откосов земляного полотна (рис. 5.3).

Тогда

$$Z_1 = \frac{(B + C)}{1 - n i_0}$$

При сопряжении верхнего и нижнего полотна с помощью подпорных стенок (рис. 10)

$$Z_1 = (B + C) + a$$

где a - ширина подпорной стенки.

В действительности же фактическое расстояние в горловине серпантинны

$$Z = 2 \left(d \sin \frac{\alpha}{2} + r_1 \left(\frac{1}{\cos \frac{\beta}{2}} - 1 \right) + u_e \right)$$

После определения Z_1 и Z проверяют возможность размещения величины Z на расстоянии Z_1 .

Если $Z > Z_1$, то элементы верхнего и нижнего полотна не разместятся в месте наибольшего сближения ветвей. В этом случае следует:

- увеличить радиусы вспомогательных кривых;
- сдвинуть центр серпантинны внутрь острого угла.

Если эти мероприятия не помогут, то необходимо принять устройство подпорных стенок. Следует заметить, что может иметь место значительное количество комбинаций сопряжения подпорных стенок.

6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДООТВОДА В РАЙОНЕ СЕРПАНТИН

Как правило, серпантин проектируется с использованием значительных уклонов продольного профиля. Поэтому продольный водоотвод связан с транспортом воды со скоростями, соответствующими размыву дна водоотводных канав. Кроме того, в районе кривых в плане (особенно основной кривой) динамическую ось отводимого водного потока направлена на боковую стенку водоотводной канавы. В связи с этим необходимо проверять отсутствие гидравлической эрозии поперечного профиля кювета.

Проектируя продольный водоотвод и учитывая вышесказанное, следует рассматривать возможность сброса воды кюветов под земляным полотном дороги с помощью водопропускных лотков. При проектировании водопропускных труб следует учитывать, что сложные эксплуатационные условия способствуют наличию “твёрдого стока”, а значит, они могут забиваться.

При проектировании системы водоотвода необходимо помнить еще об одном способе пропуска воды с одной стороны дороги на другую – устройстве водопропускных лотков. Несмотря на нарушение плавности продольного профиля, такие сооружения просты и надежны в эксплуатации, поэтому они предпочтительны, особенно на дорогах низких категорий. Комплексное решение водоотвода целесообразно выполнять, используя не только продольные и поперечные профили, но и план трассы в горизонталях.

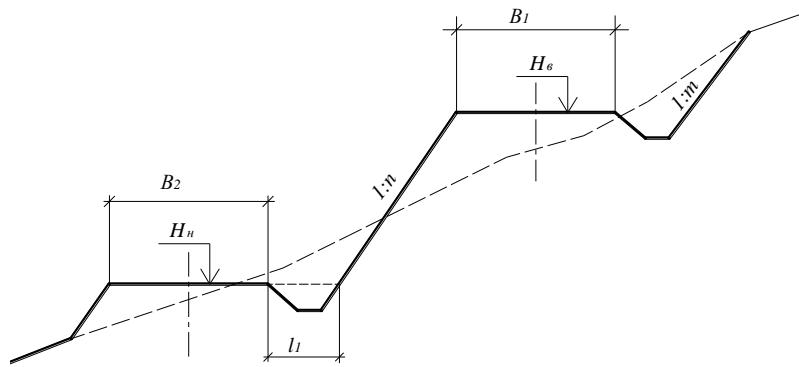


Рис 6.1. Крутизна откосов между верхней и нижней ветвями серпантини

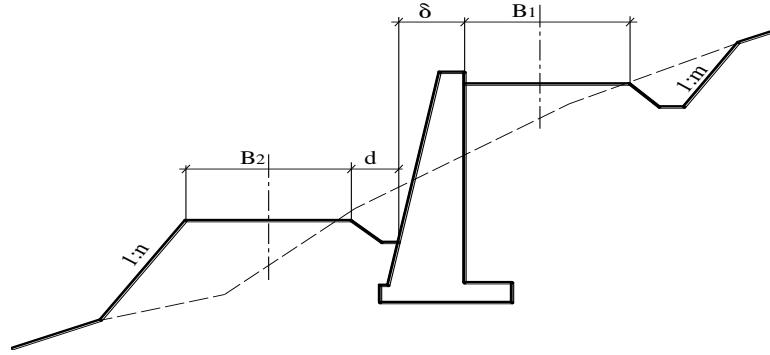


Рис 6.2

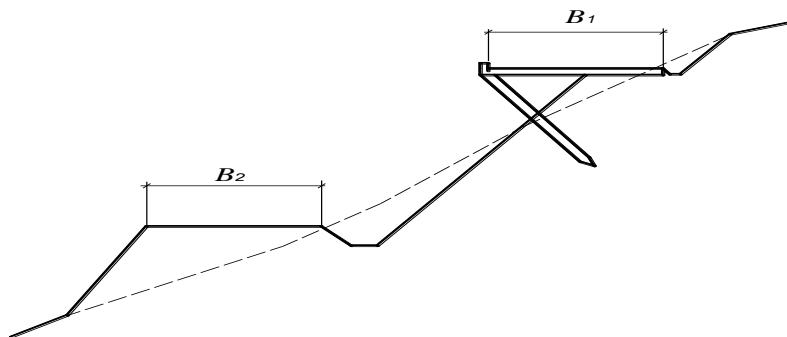


Рис 6.3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Серпантини – сложное инженерное сооружение, позволяющее в ряде случаев проложить трассу с меньшими капитальными затратами. Вместе с тем принимать решение о проложении трассы автомобильной дороги с помощью серпантин необходимо после технико-экономического сравнения с возможным проложением трасы по кардинально различающимся вариантам проложения трассы дороги.

В целом проектировать серпантину необходимо с использованием всех рекомендаций проектирования автомобильных дорог в горах с учетом геологических, гидрологических, климатических и экологических особенностей района проектирования дороги. Учитывая значительное снижение скоростей движения транспортных средств по серпантинам, при проектировании последних необходимо особо обращать внимание на обеспечение безопасности движения.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Наименование сооружения	Единицы измерения	Расход железобетона м ⁸
Круглая железобетонная труба	пог. м	0,42
	пог. м	0,84
	пог. м	1,38
На 2 оголовка	комплект	9,6
	комплект	16,4
	комплект	24,0
Малые железобетонные мосты при высоте до 3 м	пог. м	0,48
	пог. м	0,55
	пог. м	0,65

Приложение 2

Радиус кривой в плане, м.	Величина уширения, м, для автомобилей и автопоездов, м			
		13	15	18
575	0.5	0.6	0.6	0.8
425	0.5	0.7	0.7	0.9
325	0.6	0.8	0.9	1.1
225	0.8	1.1	1.0	1.5
140	0.9	1.4	1.5	2.2
95	1.1	1.8	2.0	3.0
80	1.2	2.0	2.3	3.5
70	1.3	2.2	2.5	-
60	1.4	2.8	3.0	-
50	4.5	3.0	3.5	-
40	1.8	3.5	-	-
30	2.2	-	-	-

Приложение 3

Параметры элементов серпантин	Нормы проектирования при расчетной скорости движения, км/час		
	30	20	15
Наименьший радиус кривой в плане, м	30	20	15
Поперечный уклон проезжей части на вираже, %	60	60	60
Длина переходной кривой, м	30	25	20
Уширение проезжей части, м	2,2	3,0	3,5
Наибольший продольный уклон в пределах серпантин, %	30	35	40

Приложение 4

Радиус круговой кривой	50	60	80	100	15 0	200	250	300	400	500	600
Длина переход- ной кри- вой	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120

Приложение 5

Категория дороги	Ширина внутренней об- чины не менее , м
II	1.5
III, IV, V	1.0

Приложение 8

Категория доро- ги	Расчетная ско- рость, км/ч	Допустимый про- дольный уклон, %
II	60-100	50-70
III	50-80	60-80
IV	40-60	70-90
V	60-40	90-100

Приложение 6

Категория дороги	Расчетная ско- рость, км/ч	Допустимый продольный уклон, %, в зависимости от радиу- са кривой в плане, м				
		50	45	40	35	30
II	60	60	55	50	45	40
	100	40	35	30	25	20
III	50	70	65	60	55	50
	80	50	45	40	35	30
IV	40	80	75	70	65	60
	60	60	55	50	45	40
V	30	90	85	80	75	70
	40	80	75	70	65	60

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Г. В. Ахраменко, т. А. Дубровская Проектирование земляного полотна автомобильных дорог в сложных природных условиях. Учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию. Гомель 2018. 51с
2. Митин Н.А. Серпантины – М.: Транспорт, 1972. – 192с.
3. Проектирование автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника/ Под редакцией Г. А. Федотова: М Транспорт, 1989. 65с.
4. Федотов, Г. А. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн. 1: учеб. / Г. А. Федотов, П. И. Поспелов. – М.: Высш. шк., 2009. – 646 с.
5. Федотов, Г. А. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн. 2: учеб. / Г. А. Федотов, П. И. Поспелов. – М.: Высш. шк., 2010. – 521 с.
6. Проектирование автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. 5 / Г. А. Федотов [и др.]; под ред. Г. А. Федотова, П. И. Поспелова. – М.: ФГУП «Информавтодор», 2007. – 1466 с.
7. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85*. – М., 2013. – 139 с.
8. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03–84*. – М., 2011. – 287 с.
9. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11–02–96. – М., 2012. – 110 с.
10. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23–01–99*. – М., 2013. – 109 с.
11. ГОСТ 32960 – 2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 8 с.