

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)»
ВОЛЖСКИЙ ФИЛИАЛ**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ**

Методические указания к курсовой работе
по дисциплине «Проектирование автомобильных дорог в сложных условиях»
для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство»
по профилю «Автомобильные дороги»
всех форм обучения

Чебоксары, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ:

	Стр
Цели и задачи курсового проектирования	4
Глава 1. Общая характеристика района проектирования	5
1.1. Экономическая характеристика района проектирования	5
1.2. Климатическая характеристика района проектирования	5
1.3. Обоснование технических нормативов	6
1.3.1. Расчет интенсивности движения	6
1.3.2. Основные технические показатели автомобильной дороги	8
Глава 2. Проектирование плана трассы	10
Глава 3. Продольный профиль	11
3.1. Руководящие отметки	11
3.2. Оформление грунтового разреза на чертеже продольного профиля	16
Глава 4. Земляное полотно	18
4.1. Насыпи	18
4.2. Выемки	20
4.3. Поперечные уклоны	22
4.4. Вычерчивание поперечного профиля	24
4.5. Определение объёмов земляных работ	29
4.6. Проектирование кюветов	37
Глава 5. Линейный график коэффициента аварийности	37
5.1. Оценка условий движения по линейным графикам коэффициентов аварийности	37
5.2. Построение линейного графика коэффициентов аварийности	40
Глава 6. Деталь	45
Индивидуальное задание № 1. Расчёт многоступенчатого перепада для подведения воды по склону к стенке падения	45
1.1. Общие положения	45
1.2. Расчёт бытовой глубины и бытовой скорости потока в русле	47
1.3. Расчёт многоступенчатого перепада	48
Индивидуальное задание № 2. Расчёт стенки падения с водобойной стенкой в вершине оврага	55
2.1. Общие положения	55
2.2. Расчёт бытовой глубины и бытовой скорости потока в русле	56
2.3. Расчёт стенки падения	57
Индивидуальное задание № 3. Водоотвод на косогоре по схеме быстротока с водобойным колодцем	62
3.1. Общие положения	62
3.2. Гидравлический расчёт быстротока	63
3.3. Расчёт переходного участка	65
3.4. Расчёт трубы	66
3.5. Расчёт отводящего русла	66
3.6. Расчет водобойного колодца	66

Индивидуальное задание №4. Расчёт осадки насыпи методом послойного суммирования	69
4.1. Расчёт глубины активной зоны	69
4.2. Определение величины осадки насыпи	72
Список литературы	79
Приложение 1. Титульный лист	81
Приложение 2. Задание на курсовую работу	82
Приложение 3. Образец углового штампа на листах пояснительной записки	83
Приложение 4. Образец углового штампа на 1-м листе содержания пояснительной записки	84
Приложение 5. Образец углового штампа на листах графической части	85

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Методические указания по выполнению курсовой работы включают в себя общие требования по оформлению пояснительной записки и чертежей проекта с необходимыми пояснениями, примерами и рекомендациями.

Курсовой проект должен быть творческим трудом каждого студента; приведенные в указанных методических указаниях последовательность, объем и методика выполнения расчетов носят рекомендательный характер и не преследуют целей сковывания творческого подхода и инициативы, за исключением той части проекта, содержание и исполнение которой определены действующими нормами, СНиПами, ГОСТами.

В методических указаниях изложена структура, основные этапы и последовательность разработки выпускной квалификационной работы.

Указания могут быть использованы студентами и преподавателями в работе над выпускной квалификационной работой.

Требования к структуре курсового проекта

По структуре курсовая работа состоит из:

- введения, в котором раскрывается актуальность и значение темы, формулируется цель работы, указываются используемые прикладные программы;
- расчетно–пояснительной записки, в которой приводятся все необходимые проектные решения, соответствующие расчеты, ведомости, схемы и пояснения;
- заключения;
- списка используемых информационных источников;
- чертежей - по разработанным проектным решениям.

Организация выполнения курсовой работы

Общее руководство и контроль хода выполнения курсовой работы осуществляет преподаватель соответствующей дисциплины.

Задание выдается преподавателем индивидуально каждому студенту. Приветствуется разработка проектных решений на основании действующих норм с применением различных программных комплексов.

По завершении студентом курсовой работы руководитель проверяет, подписывает его и вместе с письменным отзывом отдает студенту для ознакомления. После исправления замечаний студент допускается к защите курсовой работы.

Курсовая работа оценивается по пятибалльной системе.

Рекомендации по оформлению курсовой работы

Курсовая работа разрабатывается студентом самостоятельно согласно выданного преподавателем задания.

Курсовая работа должен содержать:

- титульный лист (Приложение 1);
- задание;
- содержание;

– расчетно-пояснительную записку, состав которой приведен в задании на курсовую работу (Приложение 2).

– перечень использованных при проектировании информационных источников;

Титульный лист должен содержать:

- наименование образовательного учреждения;
- наименование специальности;
- наименование учебной дисциплины;
- тему работы;
- учебную группу, фамилию и инициалы студента;
- фамилию и инициалы руководителя проекта;
- год разработки проекта.

Титульный лист не нумеруется.

Расчетно–пояснительная записка должна быть отпечатана в рамке (Приложение 3) с одной стороны листа А₄ (210 х 297мм) с полями: левое 20мм, правое – 5мм, верхнее – 5мм, нижнее – 5мм.

Размер шрифта - 14, пробел между строками - 1,0 интервал. В таблицах размер шрифта – читаемый, на усмотрение студента.

Таблицы, формулы, рисунки нумеруются по порядку для всего работы.

Заголовки и подзаголовки, как и весь текст, набираются только строчными буквами - по центру, жирным шрифтом.

Текст расчетно–пояснительной записки должен быть выровнен по ширине листа.

Для наглядности в данных методических указаниях примеры приведены курсивом. Курсив в расчетно-пояснительной записке – не разрешается.

Пример оформления рамки расчетно-пояснительной записки и содержания (1 лист) представлен (Приложение 3,4).

Глава 1. Общая характеристика района проектирования

1.1. Экономическая характеристика района строительства

Экономическая характеристика района строительства включает в себя:

- краткую характеристику развития района проведения дорожно-строительных работ;
- развитие транспорта и дорожной сети на рассматриваемой территории.

Указанные сведения при реальном проектировании собираются в процессе проведения изысканий дороги, а при выполнении учебных проектов принимаются по энциклопедиям.

1.2. Климатическая характеристика района строительства

Природно-климатические условия содержат описание:

- климата;
- рельефа;
- растительности и почв;
- инженерно-геологических условий;

- гидрологии;
- гидрогеологии;
- полезных ископаемых.

1.3. Обоснование технических нормативов

1.3.1. Расчет интенсивности движения

Категория проектируемой дороги устанавливается по СП 34.13330-2012 «Автомобильные дороги». Её назначают по расчётной интенсивности движения, измеряемой в приведённых к легковому автомобилю единицах в сутки (прив. ед./сут).

Расчётной интенсивностью является перспективная интенсивность движения, при этом перспективный период равен 20 годам. За начальный год перспективного периода принимают год сдачи проекта в эксплуатацию [5]. Данные об интенсивности получают с помощью экономических изысканий.

В районах, где развитие экономики идёт опережающими дорожное строительство темпами, расчёт перспективной интенсивности движения проводится по степенной зависимости.

При определении категории дороги сначала определяют перспективную интенсивность движения в транспортных единицах

$$N = N_{\text{исх}} \left(1 + \frac{p}{100} \right)^t, \quad (1)$$

где $N_{\text{исх}}$ – исходная интенсивность движения, авт./сут; p – ежегодный прирост, %; t – перспективный период, равный 20 годам.

Данные берутся из задания на проектирование (выдается преподавателем).

Например,

$$N = N_{\text{исх}} \left(1 + \frac{p}{100} \right)^t = 1346 \cdot \left(1 + \frac{8,6}{100} \right)^{20} = 7010 \text{ авт./сут}$$

Расчёт перспективной интенсивности движения производят в табличной форме (пример).

В колонки 2 и 3 из задания на проектирование заносят названия транспортного средства и соответствующий ему процент в общем потоке p_m . В строке «Итого» для колонки 3 должно получиться число 100.

Например:

Таблица 1

Определение расчётной интенсивности движения в табличной форме

m	Вид транспортного средства	p_m , %	Nm , авт./сут	K_m	$Nm \cdot Km$, прив.ед./сут
1	Легковые	85	5960	1	5960
2	Грузовые с нагрузкой на ось: до 2 т	3	210	1,3	273
	от 2 до 6 т	4	280	1,4	392
	от 6 до 8 т	3	210	1,6	336
	от 8 до 14 т	2	140	1,8	252
3	Автопоезда до 12 т	2	140	1,8	252
4	Автопоезда от 12 до 20 т	-	-	2,2	-
5	Автобусы большие	1	70	3,0	210
	Итого:	100	7010	-	7675

Затем определяют интенсивность движения автомобилей каждого типа в

$$N_m = N \frac{p_m}{100}, \quad (2)$$

потоке по формуле

где p_m – процент автомобилей каждого типа. Значения заносят в колонку 4, при этом их округляют до целых чисел так, чтобы в сумме (в строке «Итого» для колонки 4) получилось число, найденное по формуле (2).

В рассматриваемом примере – 7010 авт./сут.

В колонку 5 заносят коэффициенты приведения, взятые из табл.2 (табл. 4.2 СП 34.13330-2021). С помощью них транспортный поток моделируют потоком, состоящим только из легковых автомобилей.

Таблица 2

Коэффициенты приведения для различных транспортных средств

Тип транспортного средства	Грузоподъёмность, т	Вместимость автобусов	Коэффициент приведения K_m
Легковые автомобили, мотоциклы и микроавтобусы	-	-	1
Грузовые автомобили	до 2 включительно	-	1,3
	От 2 до 6	-	1,4
	От 6 до 8	-	1,6
	От 8 до 14	-	1,8
Автопоезда	до 12 включительно	-	1,8
	от 12 до 20	-	2,2
	от 20 до 30	-	2,7
	свыше 30	-	3,2
Автобусы	-	малая	1,4
	-	средняя	2,5
	-	большая	3
Автобусы сочленённые и троллейбусы	-	-	4,6

Затем вычисляют интенсивность движения каждого вида транспортного средства в приведённых автомобилях: $N_m \cdot K_m$ [прив. л. ед./сут] и заносят в колонку 6, предварительно округлив числа до целых значений.

Сложив значения столбика 6, получают расчётную перспективную интенсивность

$$N_{\text{расч}} = \sum_{m=1}^M N_m K_m, \quad (3)$$

где M – количество типов транспортных средств в потоке (в примере $M = 8$). Её помещают в строку «Итого» для колонки 6. По значению $N_{\text{расч}}$ согласно табл. 4.3 СП 34.13330-2021 назначают категорию дороги.

Таблица 4

Классификация автомобильных дорог по интенсивности движения

Класс дороги	Категория дороги	Расчётная интенсивность движения, прив.легк.ед./сут
Автомагистраль	IA	Свыше 14000
Скоростная дорога	IB	
Дорога обычного типа	IV	
	II	Свыше 6000 - для федеральных дорог От 6000 до 14000 - для других дорог
	III	Свыше 2000 до 6000
	IV	Свыше 200 до 2000
	V	до 200

1.3.2. Основные технические показатели автомобильной дороги

На следующем этапе необходимо заполнить таблицу «Основные технические показатели автомобильной дороги» (табл.5).

Данные принимаются согласно норм СП 34.13330-2021 «Автомобильные дороги» и ГОСТ Р 52399-2005 «Геометрические элементы автомобильных дорог». В неё заносят:

- перспективную интенсивность движения (измеряемую в авт./сут);
- расчётную перспективную интенсивность движения (измеряемую в прив. ед./сут) и категорию дороги.

Расчётную скорость движения автомобилей принимают в зависимости от установленной категории дороги и рельефа местности по табл. 2.5 (СП 34.13330-2012, табл. 5.1). Также заносят расчётную скорость движения для трудных участков.

К трудным участкам пересечённой местности относится рельеф, прорезанный часто чередующимися глубокими долинами с разницей отметок долины и водоразделов более 50 м на расстоянии не свыше 0,5 км с боковыми глубокими балками и оврагами, с неустойчивыми склонами.

Показатели 6 – 11 - назначают по табл. 5.12 СП 34.13330-2021.

Показатель 12 (ширину укреплённой части обочины) - принимают по табл.3 ГОСТ 52399-2005.

Поперечные уклоны проезжей части (показатель 13) - назначают по табл. 5.16 СП 34.13330-2021 в зависимости от дорожно-климатической зоны и категории дороги.

Проезжую часть предусматривают с двускатным поперечным профилем на прямолинейных участках и на кривых в плане:

- радиусом 3000 м и более - для дорог категории I,
- радиусом 2000 м и более – для дорог других категорий.

Поперечные уклоны обочин (показатель 14) принимают согласно п. 5.32 СП 34.13330-2012.

Наименьшие радиусы кривых в плане и продольном профиле и наибольший продольный уклон (показатели 15 – 21) принимают по табл. 5.3 СП 34.13330-2021 в зависимости от назначенной расчётной скорости движения автомобилей. Наименьшие радиусы выпуклых кривых, допускаемые на трудных участках, задают по значению расчётной скорости движения для трудных участков из табл.5.3 СП 34.13330-2021.

Расчётные расстояния видимости в продольном профиле (показатель 22) также принимают по табл. 5.9 СП 34.13330-2021.

Таблица 5

Основные технические показатели автомобильной дороги

№№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Величина показателя
1	Категория дороги		
2	Перспективная интенсивность движения	авт./сут	
3	Расчётная интенсивность движения	прив. легк.ед./сут	
4	Расчётная скорость движения	км/ч	
5	Расчётная скорость движения на трудных участках	км/ч	
6	Число полос движения	шт	
7	Ширина полосы движения	м	
8	Ширина проезжей части	м	
9	Ширина обочин	м	
10	Ширина краевой полосы	м	
11	Ширина земляного полотна без ограждений	м	
12	Ширина укрепленной части обочины	м	
13	Поперечный уклон проезжей части и краевой полосы в зависимости от дорожно-климатической зоны (при асфальтобетонном покрытии)	‰	
14	Поперечный уклон обочины за пределами краевой полосы		
15	Наименьшие радиусы кривых в плане	м	
16	Наименьшие радиусы кривых в плане, допускаемые на трудных участках	м	
17	Наибольший продольный уклон	‰	
18	Допускаемый наибольший продольный уклон на трудных участках	‰	
19	Наименьшие радиусы выпуклых кривых в продольном профиле	м	
20	Наименьшие радиусы выпуклых кривых (допускаемые на трудных участках)	м	
21	Наименьшие радиусы вогнутых кривых продольного профиля	м	
22	Расчётные расстояния видимости в продольном профиле:	м	
	для остановки		
	для встречного автомобиля		
	при обгоне		

Глава 2. Проектирование плана трассы

Перед началом проектирования дороги в плане необходимо тщательно изучить прилагаемую к заданию топографическую карту (рельеф местности, наличие контурных и высотных препятствий). Выбор направления трассы определяется категорией дороги, особенностью рельефа местности, грунтово-гидрологическими и иными условиями.

Трассу дороги следует проектировать как плавную линию в пространстве, взаимно увязывая элементы плана, продольного и поперечного профилей между собой и с прилегающей местностью. Трасса должна удовлетворять условиям наименьшего ограничения и изменения скорости, обеспечения требований удобства и безопасности движения, хорошо вписываться в окружающий ландшафт местности и отвечать требованиям охраны окружающей среды.

Углы поворота в плане следует совмещать с основными переломами элементов рельефа (водоразделами, пересечением водотоков). Направление дороги должно быть ясно видно на расстоянии, значительно превышающем нормативное расстояние видимости.

Элементы дороги (в плане и продольном профиле) следует проектировать таким образом, чтобы отсутствовали оптические искажения вида отдельных участков в перспективе. Необходимо избегать резких переходов от кривых большого радиуса в плане к кривым малого радиуса. Радиусы сопрягающихся кривых или расположенных неподалеку друг от друга не должны отличаться более чем в 1,3 – 2 раза.

При проектировании плана трассы необходимо соблюдать требования [13, 16].

На выданной для проектирования карте с горизонталями необходимо запроектировать 1 вариант трассы дороги между заданными пунктами. Определённые расчётом технические нормативы элементов трассы, принятые табл.5, следует рассматривать как минимально допустимые. Рекомендуемые значения радиусов кривых в плане и продольном профиле, расстояния видимости и продольные уклоны приведены в [13, п. 4.20*].

При этом варианты трассы должны быть запроектированы как можно ближе к «воздушной линии», чтобы трасса была проложена по кратчайшему расстоянию. По каждому из вариантов прокладывается ось трассы в виде ломаной линии, последовательно нумеруются углы поворота вдоль трассы и измеряются углы поворота, в точках перелома трассы дороги вписываются кривые максимального по возможности радиуса, производится разбивка трассы на пикеты и километры, составляется ведомость углов поворота, прямых и кривых. Форма ведомости, её размеры и пример заполнения приведены в [5, 14]. Для каждого варианта даётся детальное описание, в котором подробно описываются принятые технические решения (приводятся соображения по выбору радиусов закруглений, мест перехода через овраги, водные препятствия, пересечения железных и автомобильных дорог, обхода населённых пунктов и т.д.).

Основные требования, предъявляемые к плану трассы и его оформлению, подробно рассмотрены в [3, 4].

Глава 3. Продольный профиль

Для варианта автомобильной дороги строится продольный профиль.

Продольным профилем автомобильной дороги называют развёрнутую в плоскости чертежа проекцию оси дороги на вертикальную плоскость. Продольный профиль строят по методике, изложенной в [1,2].

Исходными данными для проектирования продольного профиля автомобильной дороги являются:

- значения предельных продольных уклонов и радиусов вертикальных кривых (причём вертикальные кривые устраивают при алгебраической разности смежных участков более 5‰ с учётом размещения тангенсов на элементах между точками перелома рельефа), определённые в табл. 3.1;
- если условия местности позволяют, то рекомендуется использовать значения, приведённые в [13, п. 4.20*];
- высота снежного покрова;
- грунтовые и гидрогеологические условия;
- розы ветров.

3.1. Руководящие отметки

Перед началом построения проектной линии определяют руководящие отметки и контрольные точки. Руководящая отметка необходима для того, чтобы установить оптимальную высоту насыпи, которая обеспечит нормальные условия эксплуатации земляного полотна. Её определяют с учётом ряда факторов: дорожно-климатической зоны, категории дороги, вида грунта рабочего слоя, типа местности по характеру увлажнения и условиям снегонезаносимости. Так как тип местности по условиям увлажнения меняется вдоль трассы, то и руководящих отметок будет несколько.

Руководящая отметка для первого типа местности

На открытых участках местности с обеспеченным стоком воды руководящую отметку определяют из условия снегонезаносимости дорожной насыпи. Схема к её определению представлена (рис.1).

Это условие заключается в том, что отметка бровки земляного полотна должна быть не менее величины h_p , определяемой в соответствии с [3] по формуле

$$h_p = h_{сн} + \Delta h \quad (1)$$

где $h_{сн}$ – расчётная толщина снегового покрова 5%-ой обеспеченности; Δh – возвышение бровки земляного полотна над уровнем снежного покрова, зависящее от категории автомобильной дороги. Величину Δh выбирают из табл. 1 [3, п.7.34].

Таблица 1

Возвышение бровки земляного полотна над уровнем снежного покрова

Параметры	Значение				
Категория	I	II	III	IV	V
Δh	1,2	0,7	0,6	0,5	0,4

В районах, где расчётная высота снежного покрова превышает 1 м, необходимо проверить достаточность возвышения бровки земляного полотна над снеговым покровом с учётом снега, сбрасываемого с дороги.

Математически это требование можно выразить следующим образом:

$$h_p = h_{сн} + \max (\Delta h, \Delta h_s) \quad (2)$$

где

$$\Delta h_s = 0,375 h_{сн} \frac{b}{a}, \quad (3)$$

b – ширина земляного полотна; a – расстояние отбрасывания снега с дороги снегоочистителем ($a = 8$ м).

Полученную отметку необходимо перевести в руководящую отметку для линии проектируемой поверхности дорожного покрытия по оси дороги. Тогда руководящая отметка вычисляется по формуле

$$h_1 = h_p + i_{об} b_2 + i_{поп} \frac{b_1}{2}, \quad (4)$$

где b_1 – ширина покрытия (суммарная ширина проезжей части $b_{пр.ч}$ и двух краевых полос), b_2 – ширина обочины за вычетом краевой полосы; $i_{об}$ – поперечный уклон неукреплённой части обочины; $i_{поп}$ – поперечный уклон проезжей части и краевой полосы.

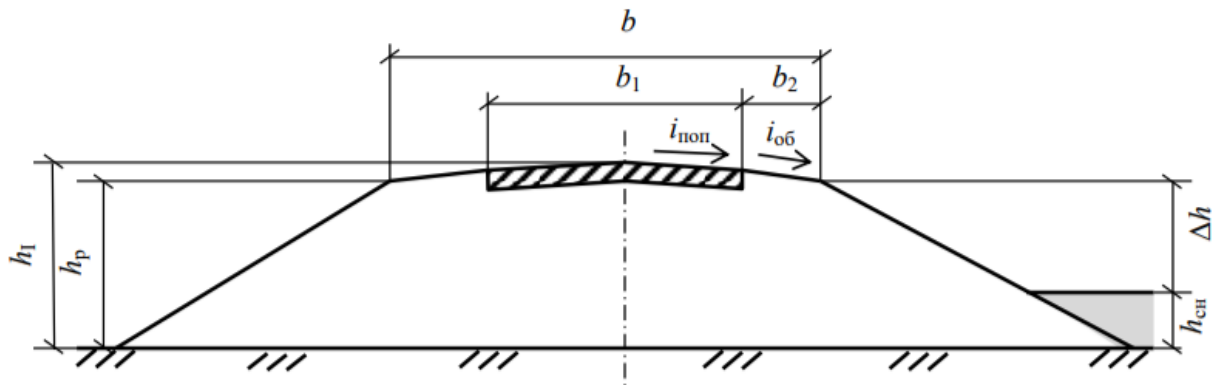


Рис. 1. Схема к определению руководящей отметки из условия снегонеуносимости дороги

Например, для дороги 4-й категории

$$b_1 = b_{пр.ч} + 2b_{кп} = 6,0 + 2 \cdot 0,5 = 7 \text{ м}; \quad b_2 = b - b_{кп} = 2,0 - 0,5 = 1,5 \text{ м}, \quad \Delta h = 0,5 \text{ м}.$$

Поперечные уклоны покрытия и обочин зависят от их вида. Для асфальтобетонного покрытия $i_{поп} = 20 \text{ ‰}$, для обочин $i_{об} = 40 \text{ ‰}$.

При высоте снежного покрова 5%-ой обеспеченности $h_{сн} = 0,55$ м руководящая отметка для дороги IV категории с асфальтобетонным покрытием составит:

$$h_1 = 0,55 + 0,5 + 0,04 \cdot 1,5 + 0,02 \cdot \frac{7}{2} = 1,18 \text{ м}.$$

Руководящая отметка для второго типа местности

Руководящую отметку для второго типа местности по увлажнению определяют от верха покрытия дорожной одежды до поверхности земли или до уровня поверхностных вод. При этом считают, что поверхностный сток воды не обеспечен и вода стоит не более 30 суток.

Схема определения отметки показана на рис.2.

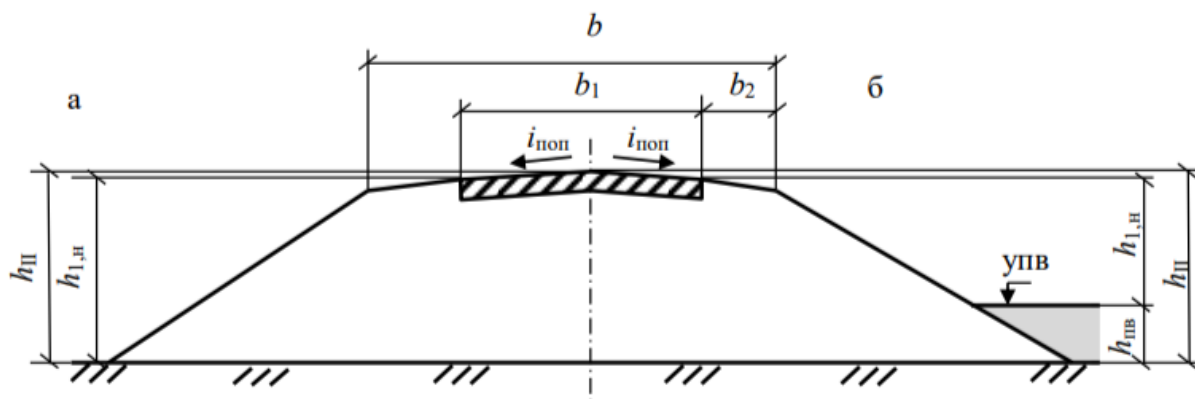


Рис.2. Определение руководящей отметки для второго типа местности по увлажнению: а – при необеспеченном стоке от поверхности земли; б – при необеспеченном стоке кратковременно стоящих поверхностных вод

При необеспеченном стоке воды от поверхности земли руководящую отметку для построения проектной линии продольного профиля по оси дороги находят по формуле

$$h_{\Pi} = h_{1,н} + i_{\text{поп}} \frac{b_1}{2}, \quad (6)$$

где $h_{1,н}$ – возвышение поверхности покрытия дорожной одежды над поверхностью земли; $i_{\text{поп}}$ – поперечный уклон проезжей части; b_1 – ширина покрытия (суммарная ширина проезжей части и 2-х краевых полос обочины).

При необеспеченном стоке кратковременно стоящих вод (не более 30 суток) руководящую отметку вычисляют по формуле

$$h_{\Pi} = h_{1,н} + h_{\text{пв}} + i_{\text{поп}} \frac{b_1}{2} \quad (7)$$

где $h_{\text{пв}}$ – толщина слоя воды над поверхностью земли. Значения $h_{1,н}$ принимаются по табл. 2 (под чертой) в зависимости от дорожно-климатической зоны и грунта рабочего слоя [3, табл. 7.1].

Таблица 2

Наименьшее возвышение поверхности покрытия в зависимости от грунта рабочего слоя и дорожно-климатической зоны

Грунт рабочего слоя	Наименьшее возвышение поверхности покрытия, м, в пределах дорожно-климатической зоны			
	II	III	IV	V
Песок мелкий, супесь лёгкая крупная, супесь лёгкая	<u>1,1</u> 0,9	<u>0,9</u> 0,7	<u>0,75</u> 0,55	<u>0,5</u> 0,3
Песок пылеватый, супесь пылеватая	<u>1,5</u> 1,2	<u>1,2</u> 1,0	<u>1,1</u> 0,8	<u>0,8</u> 0,5
Суглинок лёгкий, суглинок тяжёлый, глина	<u>2,2</u> 1,6	<u>1,8</u> 1,4	<u>1,5</u> 1,1	<u>1,1</u> 0,8
Супесь тяжёлая пылеватая, суглинок лёгкий пылеватый, суглинок тяжёлый пылеватый	<u>2,4</u> 1,8	<u>2,1</u> 1,5	<u>1,8</u> 1,3	<u>1,2</u> 0,8

Пример расчёта.

Район проектирования - Красноярский край относится к III-й дорожно-климатической зоне; грунт земляного полотна – песок мелкий, то в соответствии с табл. 2 (под чертой) $h_{I,н} = 0,7$ м.

При необеспеченном стоке воды от поверхности земли руководящую отметку для второго типа местности по увлажнению, вычисляют по формуле (6). Для дороги IV-й категории она составит

$$h_{\text{II}} = h_{1,\text{II}} + i_{\text{non}} \frac{b_1}{2} = 0,7 + 0,02 \cdot \frac{7}{2} = 0,77 \text{ м.}$$

При необеспеченном стоке временно стоящих вод глубиной $h_{\text{нв}} = 0,35$ м руководящую отметку для второго типа местности по увлажнению, вычисляют по формуле (7). Для дороги IV-й категории она составит

$$h_{\text{II}} = h_{1,\text{II}} + h_{\text{III}} + i_{\text{нон}} \frac{b_1}{2} = 0,7 + 0,35 + 0,02 \cdot \frac{7}{2} = 1,12 \text{ м.}$$

Руководящая отметка для третьего типа местности

Руководящую отметку для третьего типа местности по увлажнению определяют от верха покрытия дорожной одежды до уровня грунтовых вод или поверхностных вод, стоящих более 30 суток (рис. 3).

Случай, когда не обеспечен сток поверхностных вод, стоящих более 30 суток, будем считать типом местности по увлажнению III₁.

В этом случае руководящая отметка для построения проектной линии продольного профиля по оси дороги определяется по формуле

$$h_{\text{III},1} = h_{2,\text{H}} + h_{\text{пв}} + i_{\text{поп}} \frac{b_1}{2}, \quad (8)$$

где $h_{2,н}$ – возвышение поверхности покрытия дорожной одежды над уровнем поверхностных вод; $h_{пв}$ – толщина слоя воды над поверхностью земли; $i_{поп}$ – поперечный уклон проезжей части; b_1 – ширина покрытия (суммарная ширина проезжей части и 2-х краевых полос обочины).

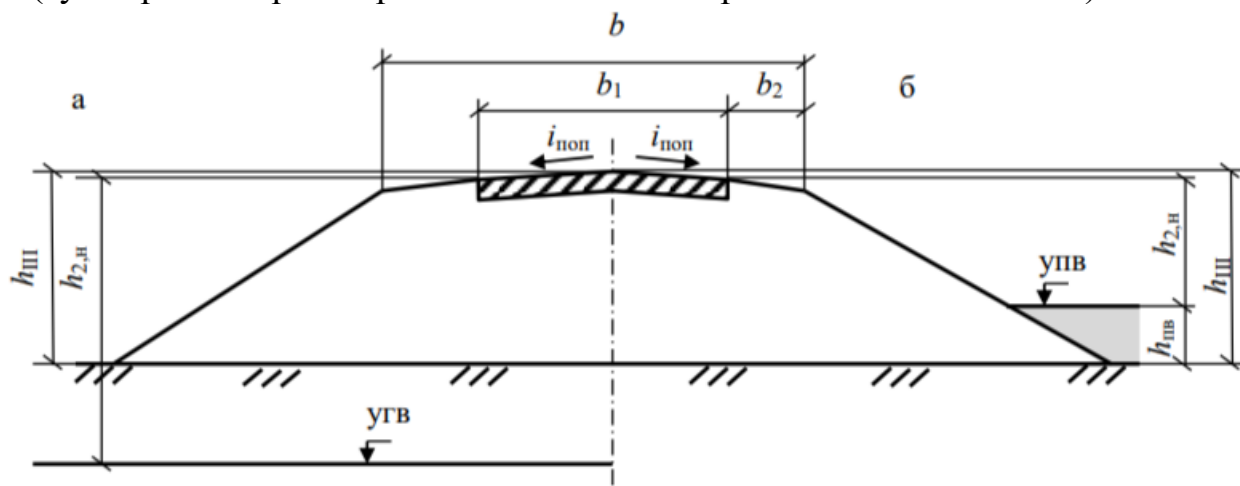


Рис.3. Определение руководящей отметки для третьего типа местности по увлажнению: а – при высоком стоянии грунтовых вод; б – при необеспеченном стоке поверхностных вод

Случай, когда имеет место высокое стояние грунтовых вод, будем считать типом местности по увлажнению III₂. Руководящая отметка вычисляется следующим образом:

где $h_{2,н}$ – возвышение поверхности покрытия дорожной одежды над уровнем грунтовых вод; $h_{гв}$ – расстояние от поверхности земли до уровня грунтовых вод. Значения $h_{2,н}$ принимаются по табл. 2 (над чертой).

Пример расчёта.

Так как район проектирования (Красноярский край) относится к III-й дорожно-климатической зоне и грунт земляного полотна – песок мелкий, то в соответствии с табл. 2 (над чертой) $h_{2,н} = 0,9$ м.

При длительно стоящих поверхностных водах глубиной $h_{пв} = 0,42$ м руководящую отметку для третьего типа местности по увлажнению, вычисляют по формуле (8).

Для дороги IV-й категории она составит

$$h_{III,1} = h_{2,н} + h_{пв} + i_{поп} \frac{b_1}{2} = 0,9 + 0,42 + 0,02 \cdot \frac{7}{2} = 1,39 \text{ м.}$$

При высоко стоящих грунтовых водах с глубиной заложения их горизонта $h_{гв} = 0,2$ м руководящую отметку для третьего типа местности по увлажнению, вычисляют по формуле (9). Для дороги IV-й категории она составит

$$h_{III,2} = h_{2,н} - h_{гв} + i_{поп} \frac{b_1}{2} = 0,9 - 0,20 + 0,02 \cdot \frac{7}{2} = 0,77 \text{ м.}$$

Обычно минимальное возвышение бровки земляного полотна над поверхностью земли (руководящая отметка) определяется согласно [4], исходя из условия обеспечения устойчивости и прочности верхней части земляного полотна и дорожной одежды возвышением поверхности покрытия над расчётным уровнем грунтовых вод, верховодки или длительно (более 30 суток) стоящих поверхностных вод и из условия снегонезаносимости.

Все пересечения автомагистрали с существующими железными и автомобильными дорогами выполняются в разных уровнях [11, 13]. Минимально допустимая рабочая отметка насыпи у путепроводов, мостов и водопропускных труб вычисляется согласно [4].

Требования к водоотводу от земляного полотна приведены в [3, 4, 13]. При нанесении проектной линии следует руководствоваться нормативными требованиями, изложенными в [13] и требованиями ландшафтного проектирования, приведёнными в [16].

Последовательность проектирования продольного профиля приведена в [4], правила оформления [5, 14, 15].

3.2. Оформление грунтового разреза на чертеже продольного профиля

1 Выбор места расположения геологических выработок

При принятии проектных решений следует учитывать геологическую характеристику местности [1, 2].

Грунтовый разрез трассы выполняют по данным инженерно-геологических обследований.

Шурфы и скважины закладывают в пределах придорожной полосы шириной до 200 м.

Шурфы – это вертикальные выработки сечением 1,2 - 2 м, устраиваемые на равнинных участках трассы.

Они более трудоёмки, чем скважины, но позволяют детальнее исследовать грунт.



Рис.1. Бурение скважины



Рисунок 2 – Геологический шурф

Скважины имеют диаметр 50, 60, 78 и 89 мм.

Их бурят в местах предполагаемого строительства искусственных сооружений, на участках глубоких выемок, под высокими насыпями.

В плане шурфы и скважины закладывают в пределах придорожной полосы шириной до 200 м.

При учебном проектировании скважины обязательно устраивают:

- в районе выемок (в самом глубоком месте),
- под искусственными сооружениями (трубами и мостами);
- под высокими насыпями (высотой более 6 м);
- на перекрёстках;
- в начале и конце трассы.

На остальных участках закладывают шурфы. На 1 км трассы обычно устраивают не менее 3 геологических выработок (шурфов или скважин).

Пример расположения геологических выработок показан на чертеже продольного профиля.

2. Назначение глубины выработки

Скважина в районе выемки должна дать представление о грунтовом профиле в пределах расчётной глубины промерзания в данном географическом районе с учётом срезанной выемкой части рельефа. Тогда:

$$h_{\text{скв}} = h_{\text{прмз}} + h_{\text{в}} \quad (1)$$

где $h_{\text{скв}}$ – глубина скважины, $h_{\text{прмз}}$ – расчётная глубина промерзания в районе проектирования, $h_{\text{в}}$ – рабочая отметка выемки (её глубина).

Например, глубина промерзания составляет $h_{\text{прмз}}=3,0$ м, тогда заложение скважины под выемкой глубиной $h_{\text{в}}=1,3$ м должно быть не менее 4,3 м (примем $h_{\text{скв}} = 5$ м).

Скважины под высокими насыпями закладывают на величину активной зоны [1, 2], т. е. в среднем на 3–4 м. Глубина скважин у труб и малых мостов составляет обычно 5–10 м. Шурфы имеют чаще всего глубину 1,5–2 м.

3. Изображение шурфов и скважин на грунтовом разрезе чертежа продольного профиля

Шурфы и скважины вычерчивают толщиной 4 и 2 мм соответственно. Если скважина не помещается полностью на грунтовом разрезе дороги, то её показывают с разрывом (см. чертёж продольного профиля, скважина на ПК 23+50). Сбоку на уровне низа шурфа или скважины пишут глубину заложения выработки. В колонках шурфов и скважин при помощи условных обозначений указывают влажность и консистенцию грунтов (рис. 3).

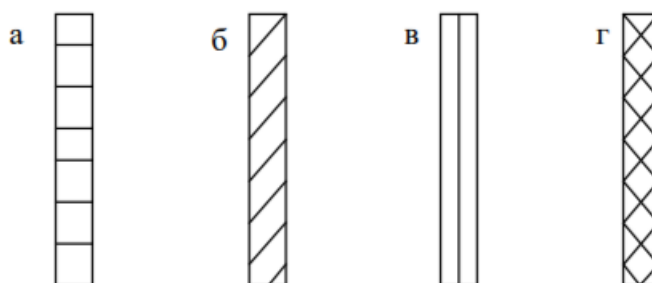


Рис. 3. Влажность и консистенция грунтов в шурфах и скважинах:

- а – маловлажные песчаные или твердые и полутвердые глинистые грунты;
- б – влажные песчаные или тугопластичные глинистые грунты;
- в – влажные песчаные или мягкопластичные глинистые грунты;
- г – водонасыщенные песчаные или текучепластичные и водонасыщенные глинистые грунты

На участках с первым типом местности по увлажнению обычно грунты бывают маловлажными (рис.3, а). На участках со вторым типом местности чаще всего бывают влажные грунты (рис.3, б, в). На участках с третьим типом местности по увлажнению с необеспеченным стоком более 30 суток грунты также могут быть влажными. На участках с высокостоящими грунтовыми водами – водонасыщенные грунты (рис.3, г).

4. Оформление геологических слоёв на грунтовом разрезе

Между шурфами и скважинами проводят тонкие линии, показывающие границы залегания пластов.

Сбоку, на уровне нижней границы слоя грунта, пишут значение глубины его залегания. Низы шурфов и скважин соединяют прямыми тонкими линиями, под которыми, а также выше грунтового разреза проводят сплошные линии ординат пикетов и плюсовых точек.

Слои грунтов обозначают условными номерами в кружках диаметром 5-7 мм. ГОСТ 21.701-2013 предполагает штриховку грунтового разреза [3].

Над боковином продольного профиля помещают таблицу с наименованиями грунтов. Её форма и размеры приведены на рис.4.

Число строк в таблице зависит от количества грунтовых слоёв, обнаруженных при изысканиях в районе строительства будущей дороги.

В графы таблицы заносят условные номера и наименования грунтов, а также группы – обозначения, принятые в соответствии с

Номер ИГЭ	Группа грунта	Наименование грунта

Рис.4. Таблица данных грунтов

классификацией грунтов по трудности разработки в сметных нормах. В учебном проектировании допускается не указывать группу грунта.

Глава 4. Земляное полотно

Исходными данными для проектирования поперечных профилей являются:

- размеры земляного полотна (табл.5);
- климатические условия района проектирования, грунтовые и гидрогеологические условия, приведённые в задании к курсовому проекту;
- рельеф местности; продольный профиль.

Конструкция земляного полотна принимается с учётом типовых поперечных профилей [17] и требований СП 34.13330.2012 [13].

В зависимости от высоты насыпи или глубины выемки на продольном профиле (в таблице-сетке) указывается тип поперечного профиля из серии [17]. В пояснительной записке даётся краткая характеристика каждого применяемого типа поперечного профиля земляного полотна, его местоположение на продольном профиле.

Каждый из принятых типов поперечного профиля привязывается на продольном профиле к конкретным пикетам и вычерчивается согласно [5, 14, 15, 17].

4.1. Насыпи

1. Насыпи из боковых резервов высотой до 2 м.

Если дорогу прокладывают по малоценным землям, то грунт для насыпи берут из устраиваемых рядом с насыпью боковых резервов.

К *ценным землям* относятся орошаемые, осушенные и другие мелиоративные земли, занятые многолетними плодовыми насаждениями и виноградниками, а также участки с высоким естественным плодородием почв и другие приравненные к ним земельные угодья.

Размеры резервов определяют исходя из количества грунта необходимого для отсыпки земляного полотна. Глубина резервов должна быть не менее 0,3 м и не более 1,5 м. Ширина резервов – не более 6 м.

Крутизну откосов для таких насыпей принимают из условия обеспечения безопасного съезда не круче:

- 1:4 – для дорог I-III категорий;
- 1:3 – для дорог IV-V категорий.

На открытых местах очертанию поперечного профиля придают округлённую форму с целью его плавного обтекания снеговетровым потоком.

2. Насыпи из привозных грунтов высотой до 3 м для дорог II-III категорий и высотой до 2 м для дорог IV-V категорий (рис. 1).

Крутизну откосов для таких насыпей принимают из условия обеспечения безопасного съезда не круче:

- 1:4 – для дорог 2-3 категорий;
- 1:3 – для дорог 4-5 категорий.

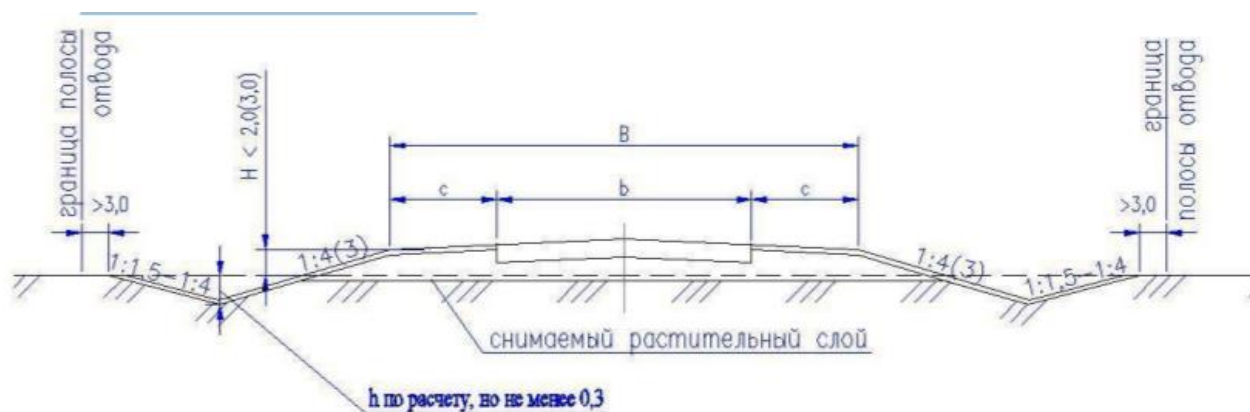


Рис.1 . Насыпь из привозных грунтов

3. Насыпи высотой от 2(3) м до 6 м (рис. 2). Их устраивают с более крутыми откосами 1:1,5. Такая крутизна обеспечивает устойчивость откоса. В мелких песчаных и пылеватых грунтах в районах с влажным климатом крутизну откосов уменьшают до 1:1,75.



Рис. 2 . Насыпь высотой до 6 м

4. Насыпь высотой более 6 м (рис. 3).

В целях борьбы с оползнями откосы насыпей делают переменной крутизны. Верхнюю часть высотой 6 м делают с заложением 1:1,5 (1:1,75). Нижнюю часть откосов делают более полной - с заложением 1:1,75 (1:2).

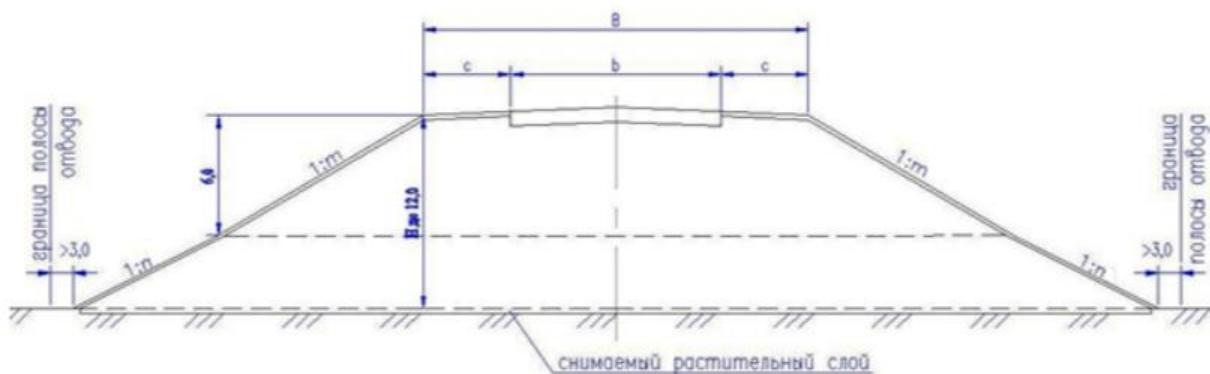


Рис. 3 Насыпь с переменной крутизной откоса

5. Насыпь на устойчивом косогоре крутизной от 1:5 до 1:3. На косогоре нарезают ступени с целью устойчивости земляного полотна. Для перехвата воды с косогора устраивают нагорную канаву и банкет.

6. Насыпь из бокового резерва на косогоре крутизной от 1:10 до 1:5.

4.2. Выемки

В выемках существует два вида откосов – *внешний и внутренний*. Внутренний откос обычно имеет заложение 1:3 или 1:4 с целью обеспечения безопасного съезда с обочины.

7. Выемка глубиной до 1 м на открытых местах (раскрытая). На дорогах I-III категорий выемки глубиной до 1 м рекомендуется устраивать обтекаемого поперечного профиля, обеспечивающего незаносимость снегом. Заложение внешних откосов у неё принимают в диапазоне 1:6 – 1:10 (рис. 4).

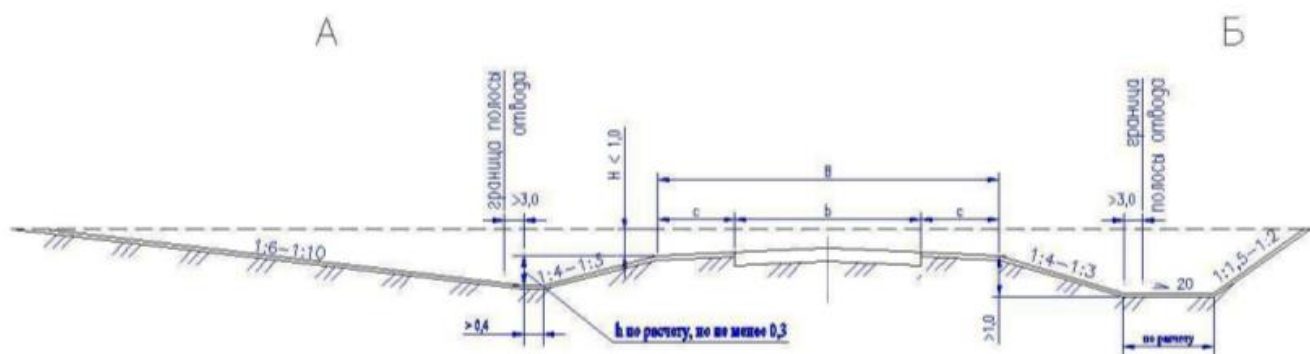


Рис. 4. Выемка глубиной до 1 м:
А – раскрытая; Б – разделанная под насыпь

8. Выемка глубиной до 1 м на высокоценных землях или в стесненных условиях. У такой выемки заложение внешних откосов принимают 1:1,5 в песчаных и однородных глинистых грунтах плотной консистенции (рис. 5).

9. Выемка глубиной до 12 м без закуветных полок (рис. 5). Для выемок глубиной до 5 м заложение внешнего откоса выемки принимают 1,5 (или 1:2). При большей глубине:

- 1:1,5 в песчаных и однородных глинистых грунтах.
- 1:1 в крупнообломочных грунтах.

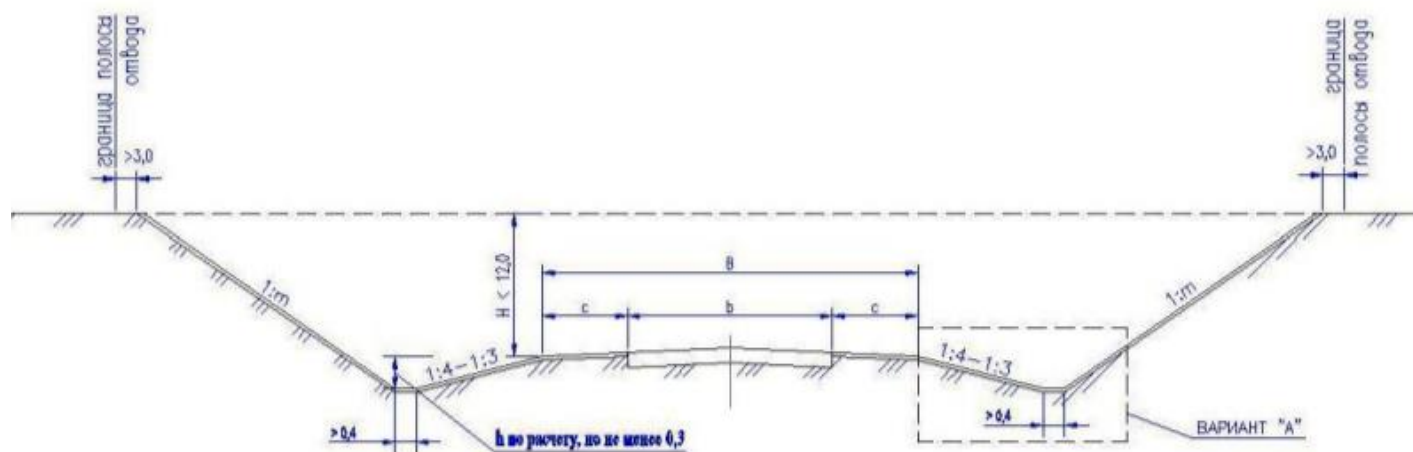


Рис.5 . Выемка без закуветных полок

10. Выемка глубиной до 12 м с закуветными полками (рис. 6).

Полки устраивают в:

- местах с интенсивными метелями и снегопадами;
- легковыветриваемых скальных грунтах;
- переувлажненных глинистых грунтах;
- пылеватых и лёссовидных грунтах и лёссах.

Поверхности закуветных полок придается уклон 20-40‰ в сторону кювета.

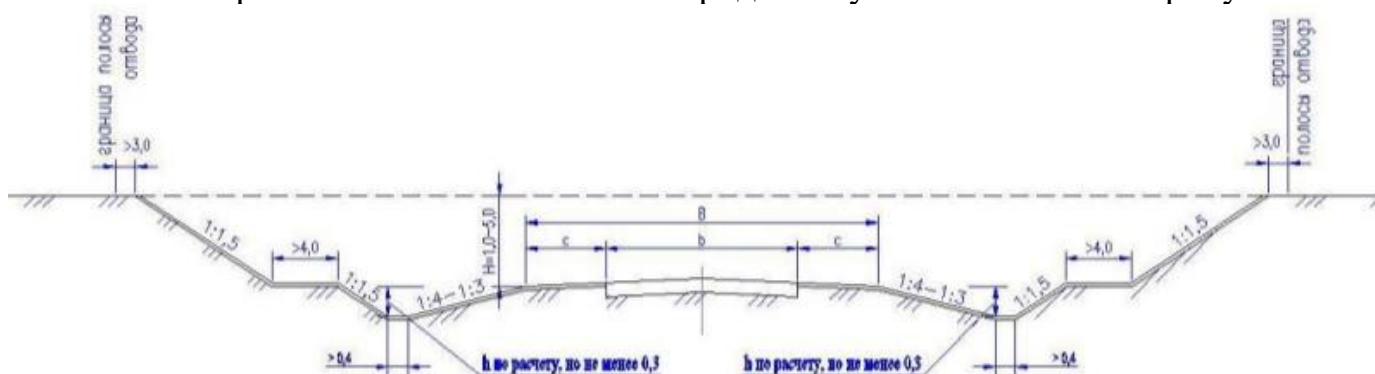


Рис. 6. Выемка с закуветными полками

Таблица 8

Крутизна откосов для различных характеристик насыпей и выемок

Характеристика насыпей и выемок	Крутизна откосов насыпей и выемок
Насыпи высотой до 6м из глинистых грунтов	1:1,5
Насыпи высотой более 6м; откос нижней части насыпи высотой от 6 до 12 м	1:1,75
Насыпи высотой до 12м из нецементированных обломочных грунтов	1:1,5
Насыпи высотой до 6м из камня слабовыветрившихся скальных пород (в зависимости от крупности от крупности, постелистости и прочности камня)	1:1 – 1:1,5
Насыпи в поймах рек (в зависимости от свойств грунта, скорости течения воды и типа укрепления)	1:1,5– 1:2
Насыпи высотой до 2 м	1:3 - 1:4
Выемки глубиной до 12 м в песчаных и глинистых грунтах однородного напластования	1:1,5
Выемки в лёссах:	
В условиях засушливого климата	1:0,1 – 1:0,5
В условиях в зависимости от глубины и прочности грунта	1:0,5 – 1:1,5
Выемки в крупнообломочных грунтах	1:1 – 1:1,5
В условиях скальных породах	1:0,2 – 1:1,5

4.3. Поперечные уклоны

Для обеспечения стока воды с верхней части земляного полотна проезжей части и обочинам придают поперечные уклоны. Их назначают в зависимости от категории дороги, дорожно-климатической зоны, типа покрытия, типа укрепления и т.д.

Поперечные уклоны проезжей части в зависимости от дорожно-климатической зоны для дорог II-IV категорий:

- I дорожно-климатическая зона – 15 ‰;
- II-IV дорожно-климатические зоны – 20 ‰;
- V дорожно-климатическая зона – 15 ‰.

Обочинам придают больший уклон, по сравнению с уклоном проезжей части на 10- 30 ‰, т. к. на их поверхности при эксплуатации могут появляться неровности, вызванные заездом автомобилей.

На автомобильных дорогах I-II категорий обочины должны быть укреплены на ширину не менее чем 0,75 м бетонными плитами, мощением щебнем или гравием, обработанными вяжущими. Остальную часть обочины укрепляют засевом травы, щебнем, гравием.

На автомобильных дорогах III-IV категорий обочины уплотняют и засевают низкорослыми травами, ширину укрепленной прочными материалами полосы сокращают до 0,5 м.

Допускаются уклоны для обочин:

- 30-40 ‰ при укреплении с применением вяжущих;
- 40-60 ‰ – гравием, щебнем, шлаком или бетонными плитами;
- 50-60 ‰ – дернованием или засевом трав.

4.4. Вычерчивание поперечного профиля

Изображение на чертеже поперечного профиля конструкции земляного полотна выполняют линиями:

- *сплошной толстой линией* проектные контуры дороги и водоотводных сооружений;
- *сплошной тонкой линией* линию фактической поверхности земли и линии ординат от точек с её переломов, границы слоев грунта;
- *штриховой тонкой линией* линию поверхности земли в пределах снятия плодородного слоя (срезки);
- *штрих-пунктирной тонкой линией* ось проектируемой автомобильной дороги.

Типовые поперечные профили привязывают к продольному профилю автомобильной дороги. Привязка типовых поперечных профилей включает в себя их подбор по типовому проекту в соответствии:

- с участками продольного профиля (высоты насыпи или глубины выемки и расположения земляных масс, указывающих на необходимость в резервах для насыпей);

- с участками плана трассы (поперечного уклона местности и ситуации, позволяющей или не позволяющей предусматривать обтекаемые очертания поперечного профиля, боковые резервы для устройства насыпей);
- с гидрогеологическими условиями (с кюветами, нагорными канавами, водонепроницаемыми прослойками или без них;
- с видом грунта земляного полотна (из однородных или неоднородных грунтов);
- с необходимым типом укрепления откосов и обочин.

Чертеж поперечного профиля конструкции земляного полотна следует выполнять в учебных целях на формате А₃ (287х420 мм) миллиметровой бумаги в масштабе 1:100.

1. Указать ось автомобильной дороги и провести линию поверхности земли с указанием снимаемого растительного грунта. Сделать надпись - «снимаемый растительный слой».

2. От горизонтальной линии подошвы земляного полотна, проходящей через ось дороги, отложить в обе стороны в масштабе 1:100 половину ширины земляного полотна для заданной категории дороги.

3. От отмеченных точек на горизонтальной линии, откладывая в масштабе высоту насыпи (вверх от линии поверхности земли) или глубину выемки (вниз), получим положение бровок земляного полотна.

4. От бровки земляного полотна откладываем в масштабе вниз высоту насыпи (высоту насыпи плюс глубину кювета или резерва при их наличии), для выемок - глубину кювета, и на этом уровне отмечаем заложение откоса в сторону от оси дороги (заложение откоса), определяется по формуле (40):

$$L = m * H \quad (40)$$

5. Соединив полученную точку с бровкой земляного полотна, получим линию откоса насыпи или выемки.

6. Вычерчиваем ширину дна кювета или резерва, отложив от нижней точки линии откоса его значение в сторону от оси.

7. Построить внешний откос кювета (резерва).

8. Для вычерчивания внешнего откоса выемки определяют высоту откоса $H_{отк}$, которая будет равна сумме глубины кювета (резерва) и глубины выемки, определяемая по формуле (41):

$$H_o = H_b + h \quad (41)$$

где H_b - глубина выемки, м; h - глубина кювета или резерва, м.

Определив высоту откоса, откладываем заложение внешнего откоса выемки и соединив полученную точку с дном кювета (резерва), получим линию откоса.

9. Отложить от поверхности земляного полотна по оси дороги вниз толщину дорожной одежды в масштабе.

10. Нанести на чертеж размеры в метрах: ширины земляного полотна и проезжей части; глубину выемки или высоту насыпи; ширину кюветов (резервов); уклоны линии поверхности дорожной одежды (покрытия) и линии поверхности обочины; крутизну откосов.

11. Обозначить границу полосы отвода и сделать надпись - «Граница полосы отвода».

12. Вычислить характерные отметки поперечного профиля: отметка бровки земляного полотна; отметка дна кювета (резерва); отметка

поверхности покрытия по оси автомобильной дороги при заданной отметке земли по оси дороги (согласно задания).

13. Обвести линии чертежа.

4.5.Определение объёмов земляных работ

Исходными данными для определения объёмов земляных работ являются рабочие отметки продольного профиля и поперечные профили земляного полотна.

Объём земляных работ определяется в зависимости от типа поперечного профиля, высоты рабочих отметок насыпи или выемки, с учётом крутизны заложения откосов, глубины кюветов и наличия растительного слоя грунта. Объёмы подсчитываются для всего протяжения продольного профиля трассы с точностью до 1 м³ в табличной форме (табл.9,10).

Пример оформления пояснительной записки по вопросу проектирования земляного полотна

Согласно выданного задания грунты – супеси легкие.

Супеси легкие - грунты являются хорошим материалом для земляного полотна. Они хорошо сопротивляются размыву и устойчивы в откосах.

Ширина проектируемого земляного полотна 15,0 м (для II технической категории).

Крутизна откосов при высоте насыпи до 3,0 м принята 1:4.

При высоте насыпи от 3,0 м до 6,0 м - крутизна откосов принята 1:1,5.

Выемка глубиной до 1 м - внутренний откос 1:4, а внешний откос 1:4.

Выемка глубиной до 5 м - внутренний откос 1:4, а внешний откос 1:1,5.

Возведение земляного полотна предусмотрено слоями не более 0,3 м с тщательным послойным уплотнением пневмокатками при 20 проходах по 1 следу.

Возведение земляного полотна предусмотрено из выемки, боковых резервов, недостающий грунт для земляного полотна используется из существующего сосредоточенного резерва.

Из-под подошвы насыпи срезается растительный грунт толщиной 30 см, который затем обратно надвигается на откосы насыпи.

Отсыпка обочин земляного полотна производится из боковых резервов и привозными грунтами.

Поперечные профили земляного полотна

Согласно выданного задания основная форма земляного полотна дороги - насыпь.

В зависимости от высоты на трассе дороги запроектированы насыпи:

- высотой до 3 м (тип 3) с боковыми резервами;*
- высотой до 3 м с кюветами (тип 2);*
- высотой от 3 м до 6 м (тип 1).*

Запроектирована также выемка (ПК 20+54 – ПК24+37; ПК31+58 – ПК37+50; ПК52+90 – ПК59+23).

Грунт из выемки используется для отсыпки земляного полотна насыпи.

Привязка поперечников приведена (табл. 19).

Поперечные профили приняты в соответствии с требованиями норм СП 34.13330.2021 для дорог II категории, согласно типового альбома 503–0-48.87 «Земляное полотно автомобильных дорог общего пользования»

Объёмы земляных работ по возведению земляного полотна и распределение земляных масс определены по рабочим отметкам (табл.20).

Таблица 9

Ведомость объемов земляных работ

ПК +	Рабочие отметки		Сумма рабочих отметок		Разность рабочих отметок 2м	Расстояние	Объем из таблиц		Поправка		Площадь по поперечникам		Средняя площадь		Исправленные объемы		Категория грунта	Распределение земляных масс			Расстояние возки	Способ разработки
	насыпь	выемка	насыпь	Выемка			Насыпь	выемка	насыпь	выемка	насыпь	Выемка	насыпь	выемка	насыпь	выемка		Из выемки		В отвал		
																		насыпь	В отвал			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Примечание. Графы 4,5,6,7,8,9,10,11 заполняются только при подсчете по таблицам;

Графы 1,2,13,14,15 – только при подсчете по поперечникам

Графы 1,2,3,16,23 – во всех случаях.

После каждого 10-го пикета – итог за километр.

Каждый 10-й пикет выписывается дважды: последний перед итогом за километр и первый после итога за километр.

Таблица 10

Номер км	Снятие растительного слоя		Объемы, м³		Категория грунта	Распределение земляных масс, м³			Расстояние возки, м	Способ разработки и перемещения грунта
	Объем, м³	Расстояние перемещения, м³	Насыпей, м³	Выемок, м³		Из выемки		Из резерва в насыпь		
						В насыпь	В отвал			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Таблица 19

Ведомость привязки типовых поперечных профилей земляного полотна

Местоположение ПК+ - ПК+	Тип поперечного профиля	Характеристика типа	Заложение откосов	Водоотводные мероприятия	Примеч.
ПК0+00 – ПК4+00; ПК24+37 – ПК26+00; ПК37+59 – ПК39+00; ПК52+00 – ПК52+90; ПК80+00 – ПК84+00	Насыпь тип 3	Высота до 3 м	1: 4	боковые резервы	
ПК4+00 – ПК9+50; ПК26+00 – ПК28+00; ПК28+00 – ПК31+58; ПК39+00 – ПК43+00; ПК47+69 – ПК52+00; ПК66+00 – ПК80+00	Насыпь тип 2	Высота до 3 м	1:4	устройство кюветов по дну 0,5 м, крутизна внешнего откоса кюветов 1:1,5	
ПК9+50 – ПК20+54; ПК43+00 – ПК47+69; ПК59+23 – ПК66+00	Насыпь тип 1	Высота от 3 до 6 м	1: 1,5		при пересечении пониженных мест
ПК20+54 – ПК21+15; ПК23+66 – ПК24+37; ПК31+58 – ПК32+58; ПК36+00 – ПК37+69; ПК52+90 – ПК53+85; ПК58+50 – ПК59+23	Выемка тип 8	глубина выемки до 1м	внутренний откос 1:4, внешний откос 1:4.		
ПК21+15 – ПК23+66; ПК32+58 – ПК36+00; ПК53+85 – ПК58+50	Выемка тип 9	глубина выемки до 5м	внутренний откос 1:4, а внешний откос 1:1,5		

Объемы земляных работ

Подсчет объемов земляных работ выполнен по таблицам [42], с введением поправок на разность рабочих отметок и на устройство дорожной одежды.

К продольным объемам необходимо вводить поправки: на разность рабочих отметок и на устройство дорожной одежды.

Поправки на устройство проезжей части определяем по формуле (51):

$$\Delta V = [S_1 - (S_2 + S_3 + S_4)] * L \quad (51)$$

где S_1 – площадь сточной призмы (выпуклости, создаваемой за счет земляного полотна) проезжей части; определяется по формуле (52):

$$S_1 = a^2 * i_{об} + b * [a * i_{об} + (b * i_{пр}) / 2], \text{ м}^2 \quad (52)$$

где $i_{пр}$ – 20%; $i_{об}$ – 40%; b – ширина проезжей части, $b = 7,5$ м; a – ширина обочины, $a = 3,75$ м.

$$S_1 = 3,75^2 * 0,04 + 7,5 * [3,75 * 0,04 + (7,5 * 0,02) / 2] = 2,25 \text{ м}^2$$

S_2 – площадь сечения дорожной одежды на ширине проезжей части; определяется по формуле (53):

$$S_2 = b * h_{д.о.}, \text{ м}^2 \quad (53)$$

где $h_{д.о.}$ – толщина дорожной одежды, $h_{д.о.} = 0,69$ м.

$$S_2 = 7,5 * 0,69 = 6,6 \text{ м}^2$$

S_3 – площадь сечения краевых полос; определяется по формуле (54):

$$S_3 = 2 * c' * h_{к.п.}, \text{ м}^2 \quad (54)$$

$$S_3 = 2 * 0,75 * 0,69 = 1,32 \text{ м}^2$$

где c' – ширина укрепительной полосы, $c' = 0,75$ м; $h_{к.п.}$ – толщина укрепительной полосы, $h_{к.п.} = 0,69$ м.

S_4 – площадь сечения укрепления обочин; определяется по формуле (55):

$$S_4 = 2 * c'' * h_{y.}, \text{ м}^2 \quad (55)$$

$$S_4 = 2 * 2,25 * 0,15 = 0,68 \text{ м}^2$$

$$\Delta V = [2,25 - (6,6 + 1,32 + 0,68)] * 100 = 635 \text{ м}^3$$

В объеме земляных работ, кроме профильного объема, необходимо учитывать объемы по снятию растительного слоя:

1) объемы под насыпь определяем по формуле (56):

$$V_{\text{сн}} = [B + 2 * m * (H_{\text{ср}} + h_c)] * h_c * L, \text{ м}^3 \quad (56)$$

где B – ширина земляного полотна; m – коэффициент внешнего заложения откоса; L – длина участка, м; h_c – снимаемый растительный слой, $h_c = 0,30$ м.

$$H_{\text{ср}} = (H_1 + H_2) / 2, \text{ м}^2 \quad (57)$$

где H_1 и H_2 – рабочие отметки насыпи;

2) объем снимаемого грунта в резервах определяем по формуле (58):

$$V_{\text{ср}} = 2 * (l_1 + m_1 * h_p + m_2 * h_c) * h_c * L, \text{ м}^3 \quad (58)$$

где l_1 – ширина резерва; h_p – глубина резерва; m_1 и m_2 – внешний и внутренний откосы.

Все расчеты сводим в «Ведомость объемов земляных работ» (табл. 20).

Профильный объем земляных масс составляет по основной дороге:

- насыпь – 347175 м³;

- выемка - 60239 м³.

Объем оплачиваемых земляных работ составит - 347175 м³.

Возведение земляного полотна предусмотрено слоями не более 0,3 м с тщательным послойным уплотнением пневмокатками при 20 проходах по одному следу. Из-под подошвы насыпи срезается растительный грунт толщиной 30 см, который затем обратно надвигается на откосы насыпи. Отсыпка обочин земляного полотна производится из боковых резервов и привозными грунтами. Откосы насыпи укрепляются засевом многолетних трав.

Укрепительные работы

Выбор типа укрепления откосов земляного полотна зависит от рода грунта, высоты насыпи, климатических условий местности. Насыпи высотой менее 1 м из суглинистых грунтов не укрепляют.

Согласно типовому проекту 3.503.9-78 «Конструкции укрепления откосов земляного полотна и автомобильных дорог общего пользования» в данном проекте предусмотрено укрепление откосов земляного полотна и приобочной полосы обочины засевом многолетних трав.

Для предохранения земляного полотна от переувлажнения поверхностными водами и размыва предусмотрено устройство водоотводных канав.

Укрепление откосов и обочин земляного полотна на поперечных профилях показывается двойной линией.

Наибольшее распространение имеет укрепление механизированным посевом многолетних трав, предохраняющее земляное полотно от разрушающего действия дождевых и талых вод, ветра и температурных воздействий.

Откосы насыпи укрепляются на всем протяжении трассы засевом многолетних трав.

Таблица 21

Ведомость объемов по укреплению откосов насыпи

№ п/п	Участок трассы От ПК+ до ПК+	Протяженность, м	Ширина укрепления, м		Площадь укрепления, м ²		Примечание
			щебнем	Засевом семенами трав	фр. щебнем М-600 h=0,15м	Засевом семенами трав	
1	2	3	4	5	6	8	9
1	0+00- 84+00	8400	2,25x2	0,75x2	-	12600	С двух сторон

Таблица 20

Ведомость объемов земляных работ (фрагмент)

КМ	Пикет +	Рассто яние, м	Рабочая отметка , м		Сумма рабочих отметок, м		Разность рабочих отметок, м		Объем профильный, м³		Разность рабочих отметок, м	Поправка на устройство ДО, м³		Поправка на снятие растит. грунта, м³		Итого земляных работ, м³	
			насыпь	выемка	насыпь	выемка	насыпь	выемка	насыпь	выемка		насып ь	выемка	насыпь	выемка	насыпь	выемка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	0+00		0,00														
		100			0,09		0,09		75		0	635		31			529
	1+00		0,09														
		100			0,71		0,53		559		4	635		245		169	
	2+00		0,62														
		100			2,02		0,78		1668		8	635		697		1730	
	3+00		1,40														
		100			3,80		1,00		3391		13	635		1311		4067	
	4+00		2,40														
		100			6,51		1,71		6484		36	635		781		6630	
	5+00		4,11														
		100			8,48		0,26		9057		1	635		1018		9440	
	6+00		4,37														
		100			10,18		1,44		11521		26	635		2443		13329	
	7+00		5,81														
		100			10,54		1,08		12071		15	635		1265		12701	
	8+00		4,73														
		100			8,70		0,76		9363		7	635		1044		9772	
	9+00		3,97														
		100			5,98		1,96		5826		48	635		2063		7254	
	10+00		2,01														
Итого 1км		1000							60015		158	6350		10898		65092	529
1	10+00		2,01														
		100			3,31		0,71		2903		6	635		1142		3410	
	11+00		1,30														
		100			2,13		0,47		1777		3	635		735		1877	
	12+00		0,83														
		100			1,86		0,20		1525		1	635		642		1532	

Проектирование вариантов плана, продольных и поперечных профилей, а также подсчёт объёмов земляных работ можно выполнять в специализированном программном комплексе Topomatic Robur «Автомобильные дороги».

4.7. Проектирование кюветов

Основные требования, предъявляемые к проектированию кюветов

Система дорожного водоотвода состоит из ряда сооружений и отдельных конструктивных мероприятий, предназначенных для предотвращения переувлажнения земляного полотна:

- выпуклое очертание поперечного профиля;
- боковые каналы (кюветы);
- водоотводные каналы, отводящие воду из кюветов в пониженные места или водотоки;
- нагорные каналы, перехватывающие воду, которая стекает по склонам местности к дороге;
- мосты, трубы для пропуска воды из боковых каналов [1, 2].

Случаи устройства кюветов у земляного полотна

Боковые продольные каналы – кюветы устраивают в выемках и у насыпей с небольшими рабочими отметками (в условиях равнинной местности при высоте насыпей не более 1,5 м, в условиях пересеченной – не более 2 м).

У насыпей кюветы нарезают как с двух сторон земляного полотна, так и с одной нагорной стороны, если поперечный уклон местности превышает 20 ‰.

Случаи устройства кюветов показаны на рис. 7.

Рис.7. Условия для создания кюветов



В водонепроницаемых песчаных, щебенистых и гравелистых грунтах, обеспечивающих быстрое впитывание воды в любое время года, каналы у насыпей не устраивают.

Поперечное сечение кюветов

Поперечное сечение кюветов бывает треугольным и трапецевидным. Если земляное полотно возводят в сухих местах с обеспеченным быстрым стоком поверхностных вод, а грунтовые воды расположены глубоко, то боковые каналы устраивают в виде треугольных лотков.

Если условия поверхностного стока недостаточно удовлетворительны и грунты слабо водопроницаемы, то боковым канавам придают трапецевидное сечение. Заложение откосов лотков зависит от крутизны откоса насыпи.

В соответствии с нормами отвода земли откосам кюветов придают такой же уклон, как и откосам насыпей и внутренним откосам выемки [3].

Откосы насыпей высотой до 2 м и внутренние откосы выемки имеют крутизну 1:4 на дорогах I–III категории и 1:3 – на дорогах IV–V категории (рис. 8,9).

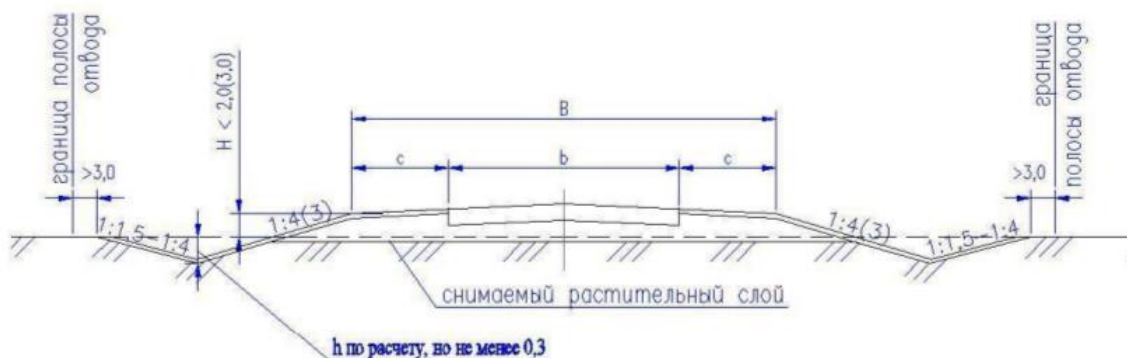


Рис.8. Поперечный профиль насыпи высотой до 2 метров

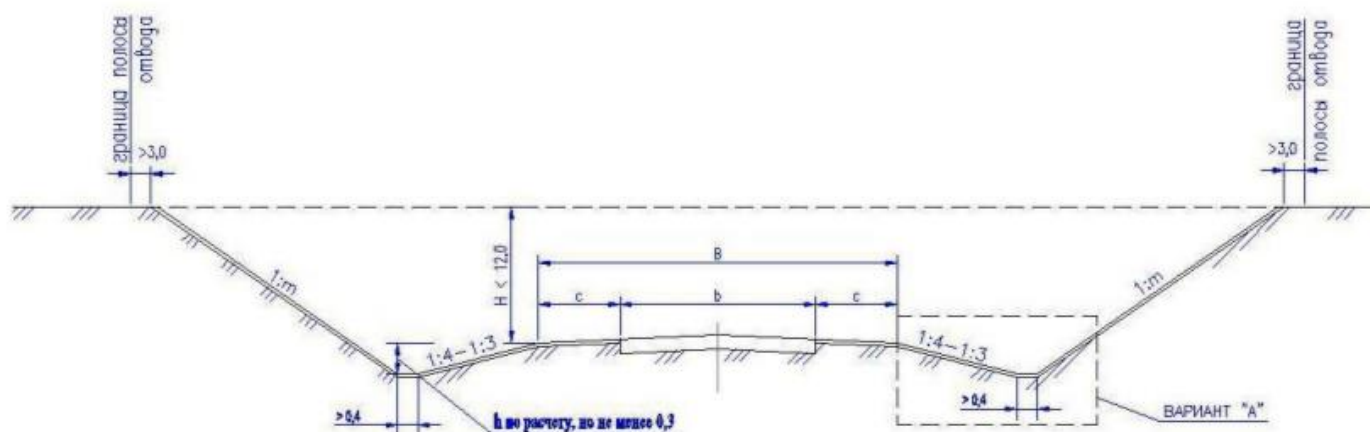


Рис.9. Поперечный профиль выемки

Глубина кюветов зависит от вида земляного полотна и вида самого кювета.

Треугольные лотки у насыпей в засушливых районах обычно имеют глубину 0,3 м.

Трапецевидные кюветы у насыпей имеют глубину 0,3–0,5 м.

В выемках глубина кювета (глубина от бровки земляного полотна до дна кювета) зависит от толщины дорожной одежды и может составлять 0,7–1,2 м.

Требования к продольному уклону дна канавы

Кюветы способствуют осушению верхней части земляного полотна в связи с испарением влаги с откосов кюветов. Однако положительное действие боковых канав сказывается лишь при быстром удалении из них воды.

У насыпей канавы нарезают после их возведения. Поэтому здесь уклоны дна кювета обычно повторяют уклоны поверхности земли, но он не должен быть меньше 5 ‰ (на равнинных участках, как исключение – 3 ‰). В противном случае вода будет застаиваться в канавах.

В выемках канавы выполняются сразу в процессе ее устройства. Здесь уклон дна канавы повторяет уклон проектной линии. На криволинейных участках проектной линии кривые заменяются отрезками по 100 м. Вода из боковых канав должна выводиться в пониженные места не реже чем через 500 м [4], отсюда следует ограничение на длину выемки. Запрещается пропуск воды через выемку из кюветов на вышележащем участке насыпи. Перед выемкой воду нужно отвести [4].

При изменении продольного уклона канавы (в случае изменения уклона земли или проектной линии в выемке) уклон канавы не должен убывать. В случае невозможности соблюсти данное требование, требуется отвести воду и начать новую канаву.

Порядок проектирования кюветов

1) Нанесение границ кюветов

Для этого сначала нужно расставить границы типов поперечных профилей (см. методические материалы «Поперечные профили»). Затем в сетке чертежа сначала нужно нанести границы кюветов: провести линии нулевых работ, т.е. линии, разделяющие насыпи от выемок, и границы участков с насыпями высотой не более 2 метров.

Алгоритм построения рассмотрим на примере левого кювета (рис. 13).

В ячейках, где кюветы не проектируются можно сразу написать «без кюветов».

2) Задание уклонов дна кюветов

Зададим уклоны дна кюветов сначала в выемках.

В выемке, в силу её конструктивной особенности, заключающейся в постоянстве глубины кювета, уклон дна назначают по уклону проектной линии.

Отсюда следует и требование к минимальному уклону 5 ‰, обеспечивающему сток воды по кювету. В первой выемке – это уклон 15 ‰, во второй – 19 ‰. Для кюветов у насыпей уклоны вычисляют по уклонам местности.

Например, (рис.4-5) на участке с ПК 0+00 по ПК 1+00 уклон местности составит 14 ‰:

$$i = \frac{H_1 - H_2}{x} = \frac{178,10 - 176,70}{100} = 0,014 .$$

При новом переломе местности считают новый уклон.

Участок за ПК 1+00 имеет обратный уклон. Уклоны и длины записывают в графу «Уклон, ‰, длина, м» (см. рис. 5 для левого кювета). Чтобы не потеряться на местности боком записывают плюсовые точки.

Например, (рис. 13-14) переход из насыпи имеет место на ПК 1+36, поэтому боком записано число 36.

Если граница кювета совпадает с полным пикетом, то плюсовую точку не пишут.

3) Вычисление отметок дна кювета

Отметки надо начинать считать с водораздельных точек или от верха кювета вниз.

Такой точкой является начало кювета на ПК 1+36. В начале кювета отметку можно задать формально, отняв от отметки рельефа глубину канавы. Пусть на ПК 1+36 отметка земли составляет 176,86 м.

Кювет, который направлен влево проходит у насыпи, поэтому назначим его глубину 0,5 м, тогда отметка дна 176,36 м.

Зная уклон 5 ‰ и длину 36 м, находим отметку 176,18 м. Кювет в сторону выемки имеет глубину 0,73 м, тогда отметка дна составит 176,13 м.

Расчёты ведутся аналогично.

4) Назначение укрепления дна кюветов

При больших уклонах дна кюветов скорость потока воды может превышать допустимые значения, что может привести к размывам дна и стенок кюветов. В этом случае предусматривают укрепление дна и стенок кюветов.

Типы укрепления и уклоны кюветов, при которых они используются, приведены в табл. 11.

Таблица 11

Типы укрепления кюветов

Тип укрепления	Уклоны, ‰	
	В песчаных грунтах	В суглинистых грунтах
Без укрепления	До 10	До 20
Засев трав	10 - 30	20 - 30
Мощение	30-50	30 -50
Бетонные лотки и перепады	Более 50	Более 50

5) Отвод воды из кюветов

На продольном профиле отвод воды из канавы показывается специальными значками (рис. 13).

Некоторые схемы отвода воды показаны на рис 14-15.

Рис.10.
Нанесение
границ кюветов
на примере
левого кювета

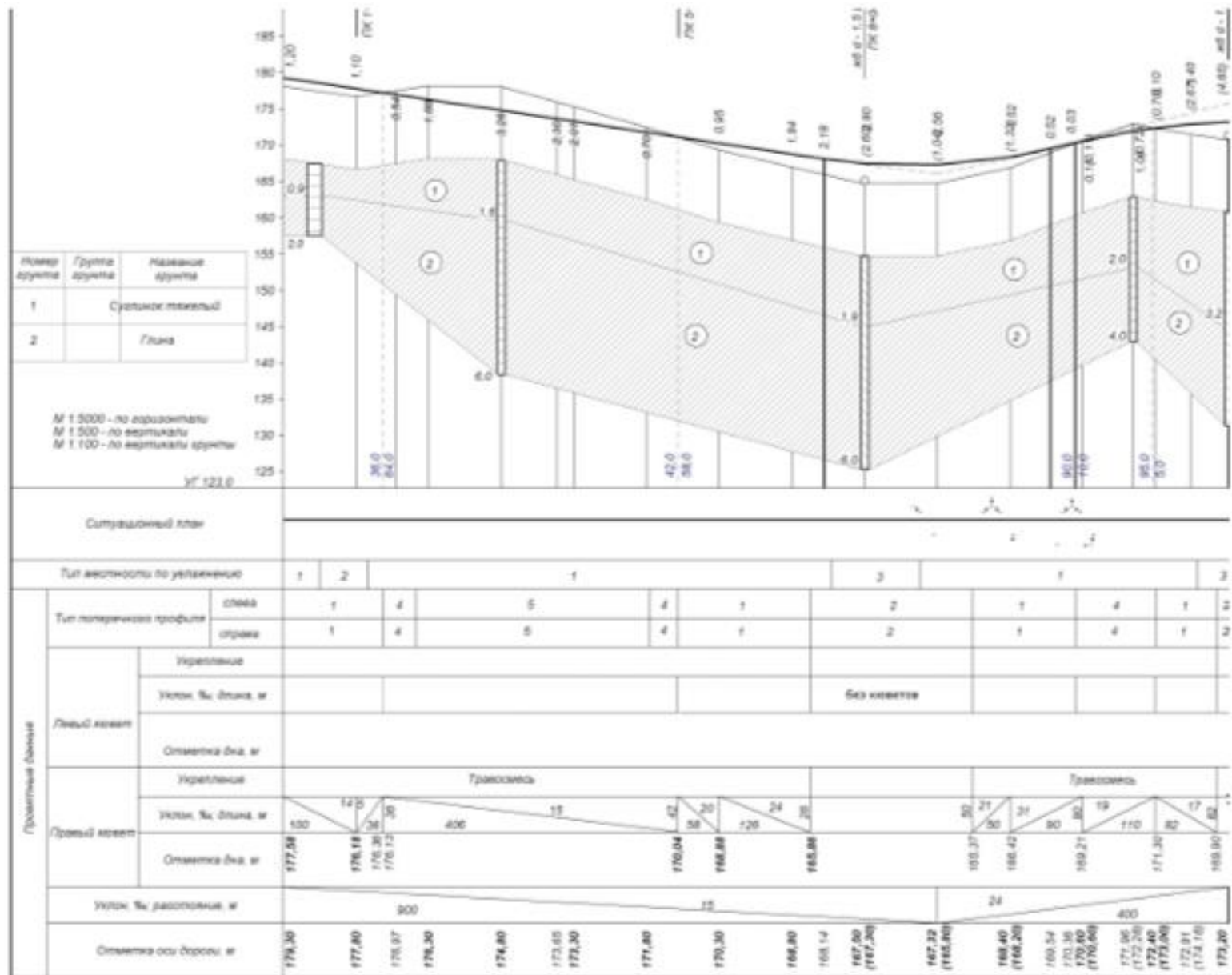


Рис. 11. Назначение уклонов дна кювета

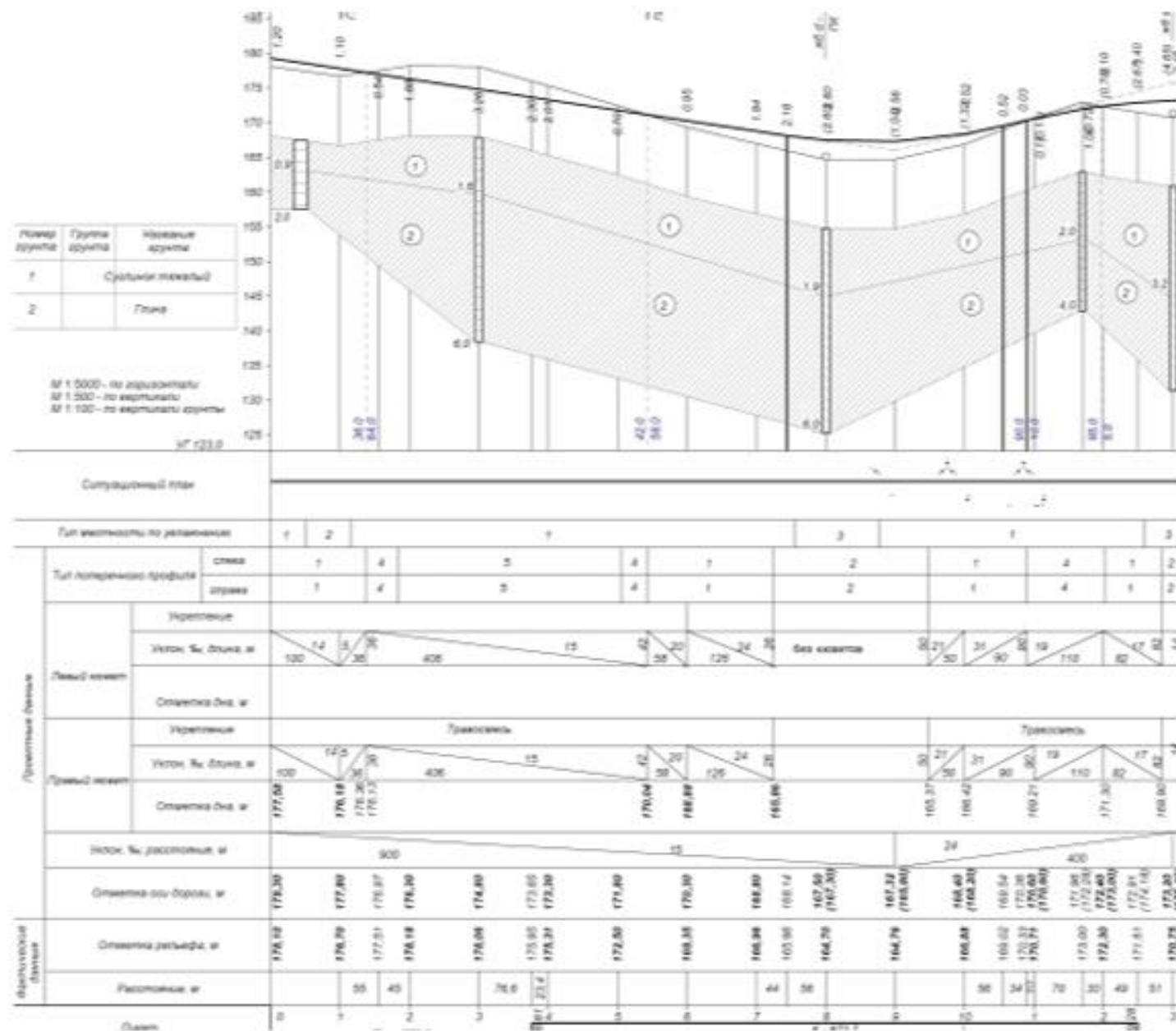
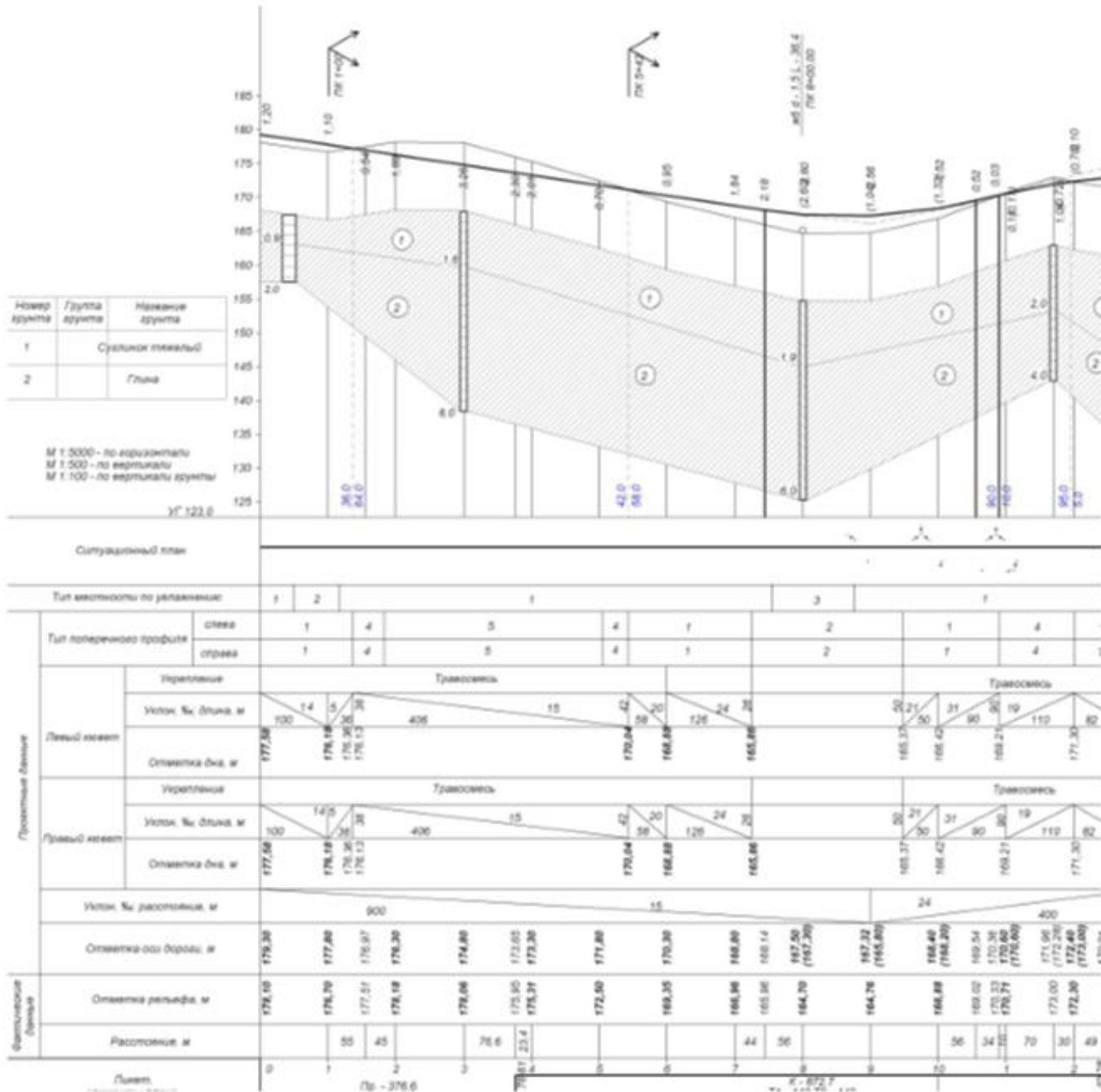


Рис.12.
Вычисление
отметок кюветов



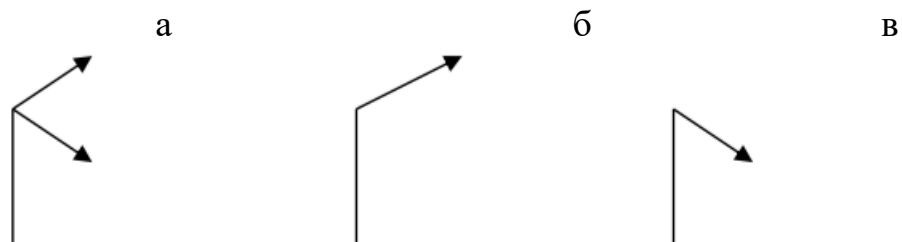


Рис. 13. Надпрофильные знаки, указывающие мероприятия по отводу воды из кюветов:
а – двухсторонний отвод воды, б - отвод на левую сторону земляного полотна;
в - отвод на правую сторону земляного полотна.

Рис.14.
Двухсторонний
отвод воды из
бессточной впадины

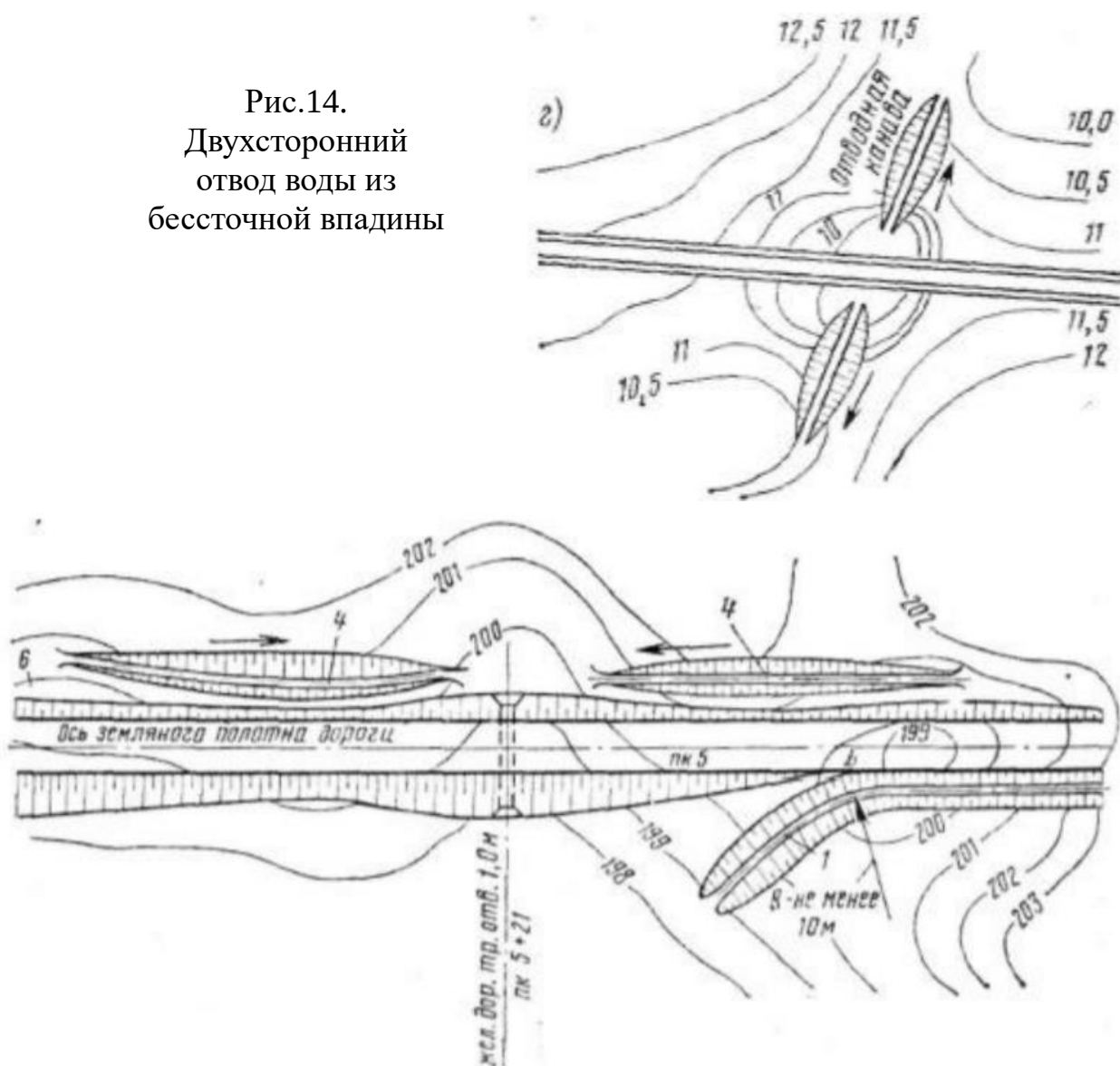


Рис.15. Отвод воды из мелкой лощины на правую сторону земляного полотна

Глава 5. Линейный график коэффициента аварийности

5.1. Оценка условий движения по линейным графикам коэффициентов аварийности

Коэффициент аварийности представляет собой произведение частных коэффициентов, учитывающих влияние отдельных элементов плана и профиля и определяется по формуле:

$$K_{ав} = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n \quad (42)$$

где: $K_1, K_2, \dots, K_n$ - частные коэффициенты аварийности, определяются по формуле (43):

$$K_n = n_{уч}/n_{эт} \quad (43)$$

где: $n_{уч}$ - количество происшествий при том или ином значении элемента автомобильной дороги. $n_{эт}$ - количество происшествий на эталонном участке.

Эталонный - горизонтальный, прямой участок автомобильной дороги проезжей частью шириной 7,5 м, с шероховатым покрытием и укрепленными обочинами шириной 3,5 м, при хорошей видимости и сухой погоде).

Значения частных коэффициентов аварийности были определены по отечественным и зарубежным статическим данным о дорожно-транспортных происшествиях.

Справочные данные по частным коэффициентами аварийности, применяемым для дорог в равнинной и холмистой местностях, приведены в (табл. 12- 29).

Таблица 12

Коэффициент аварийности K_1

Интенсивность движения, тыс. авт./сут.	0,5	1	3	5	7	9	11	13	15
K_1 (двухполосные дороги)	1,4	1,1	0,75	1,0	1,3	1,7	1,8	1,5	1,0
K_1 (трехполосные дороги)	-	-	0,65	0,75	0,9	0,96	1,25	1,5	1,3

Таблица 13

Коэффициент аварийности K_2

Ширина проезжей части, м	4,5	5,5	6	7	7,5	9	14...15
K_2 при укрепленных обочинах	2,2	1,5	1,35	1,05	1,0	0,8	0,6
K_2 при неукрепленных обочинах	4,0	2,75	2,5	1,75	1,5	1,0	0,8

Таблица 14

Коэффициент аварийности K_3

Ширина обочин, м	0,5	1,5	2,0	3,0	4,0
K_3 (двухполосные дороги)	2,2	1,4	1,2	1,0	0,8
K_3 (трехполосные дороги)	1,37	0,73	0,65	0,49	0,35

Таблица 15

Коэффициент аварийности K_4

Продольный уклон, промиле (‰)	20	30	50	70	80
K_4	1,0	1,25	2,5	2,8	3,0

Таблица 16

Коэффициент аварийности K_5

Радиусы кривых в плане, м	20	40	50	100	150	200...300	400...600	1000...2000
K_5	-	-	10	5,4	4,0	2,25	1,6	1,25

Таблица 17

Коэффициент аварийности K_6

Видимость проезжей части, м	30	50	100	150	200	250	350	400	500
K_6	-	3,6	3,0	2,7	2,25	2,0	1,45	1,2	1,0

Таблица 18

Коэффициент аварийности K_7

Ширина проезжей части моста по отношению к проезжей части дороги	Меньше на 1 метр	Равна	Больше на 1 метр	Больше на 2 метра	Равна ширине земляного полотна
K_7	6,0	3,0	2,0	1,5	1,0

Таблица 19

Коэффициент аварийности K_8

Длина прямой, км	≤ 3	5	10	15	20	≥ 25
K_8	1,0	1,1	1,4	1,6	1,9	2,0

Таблица 20

Коэффициент аварийности K_9

Число полос движения	2	3 (без разметки)	3 (с разметкой полос движения)
K_9	1,0	1,5	0,9

Таблица 21

Коэффициент аварийности K_{10}

Ширина разделительной полосы, м	1	2	3	5	10	15
K_{10}	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,4

Таблица 22

Коэффициент аварийности K_{11}

Тип пересечения	Пересечение в различных уровнях	Кольцевое пересечение	Пересечение в одном уровне при интенсивности движения по пересекаемой дороге, % от суммарной на двух дорогах		
			≤ 10	10...30	≥ 20
K_{11}	0,35	0,70	1,5	3,0	4,0

Таблица 23

Коэффициент аварийности K_{12}

Пересечение в одном уровне при интенсивности движения по основной дороге, тыс.авт./сут.	<1,6	1,6...3,5	3,5...5,0	>5
K_{12}	1,5	2,0	3,0	4,0

Таблица 24

Коэффициент аварийности K_{13}

Видимость пересечения в одном уровне с основной дороги, м	≥ 60	60...40	40...30	30...20	≤ 20
K_{13}	1,0	1,1	1,65	2,5	5,0

Таблица 25

Коэффициент аварийности K_{14}

Расстояние проезжей части от застройки, м	≥ 50 застройка с одной стороны дороги	50...20		20...10	≤ 10	
		Застройка с одной стороны дороги, но есть тротуар	Застройка с двух сторон дороги. Есть тротуар и полоса местного движения	Застройка с двух сторон дороги. Есть тротуар и полоса местного движения	Есть тротуар, нет полосы местного движения	Нет полосы местного движения и тротуара
K_{14}	1,0	1,25	2,5	5,0	7,5	10

Таблица 26

Коэффициент аварийности K_{15}

Протяженность малого населенного пункта, через который проходит дорога, м	0,5	1	2	3	5	6
K_{15}	1,0	1,2	1,7	2,2	2,7	3,0

Таблица 27

Коэффициент аварийности K_{16}

Протяженность участков подходов к населенным пунктам, км	$\leq 0,2$	0,2...0,6	0,6...1,0	>1
K_{16}	2,0	1,5	1,2	1

Таблица 28

Коэффициент аварийности K_{17}

Расстояние от кромки проезжей части до сооружения, столба или дерева вблизи дороги, м	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	≥ 5
K_{17}	2,0	1,75	1,4	1,2	1,1	1,0
Расстояние от кромки проезжей части до оврага глубиной более 5 м	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	≥ 5
K_{17} (нет ограждения оврага)	4,3	3,7	3,2	2,75	2,0	1,0
K_{17} (есть ограждение оврага)	2,2	2,0	1,85	1,75	1,4	1,0

Таблица 29

Коэффициент аварийности K_{18}

Состояние покрытия	Скользкое, грязное	Скользкое	Сухое, чистое	Шероховатое, старое	Шероховатое, новое
Коэффициент сцепления	0.2...0.3	0,4	0,6	0,7	0,75
K_{18}	2,5	2,0	1,3	1,0	0,75

5.2. Построение линейного графика коэффициентов аварийности

График итоговых коэффициентов аварийности строится на основе продольного профиля плана трассы на миллиметровой бумаге в следующей последовательности:

1. Вычерчивается сетка графика с соблюдением размеров граф (рис.16). Горизонтальный масштаб графика $M:10000$; вертикальный масштаб – произвольный.

2. В сетку заносятся исходные данные по рассматриваемому участку дороги: интенсивность движения, размеры элементов поперечного профиля дороги, размеры элементов плана и продольного профиля, расстояние видимости, сведения о пересечениях, и т.д.

3. На основе исходных данных устанавливаются значения частных коэффициентов аварийности, которые записываются в соответствующие строки с учетом протяжения участка, на котором тот или иной коэффициент действует. Границы участков в каждой строке обозначаются вертикальными линиями зон влияния (табл.30).

Таблица 30

Зоны влияния опасных участков

Элементы дороги	Зоны влияния, м
Подъем и спуски	100 от вершины
	150 от подошвы спуска
Пересечения в одном уровне	В каждую сторону по 50
Кривые в плане с обеспеченной видимостью при радиусах более 400м	В каждую сторону по 50
Кривые в плане с необеспеченной видимостью при радиусах менее 400м	В каждую сторону по 100
Мосты и путепроводы	В каждую сторону по 75
Подходы к тоннелям	В каждую сторону по 150
Препятствия и глубокие обрывы вблизи от дороги	В каждую сторону по 50

4. Границы каждого из выделенных участков сносятся в графу итоговых коэффициентов аварийности. В пределах полученных участков дороги последовательно определяются итоговые коэффициенты аварийности путем перемножения частных коэффициентов, действующих на данном участке по всем графам.

5. Строится график коэффициентов аварийности, с указанием неопасных, малоопасных, опасных и наиболее опасных участков дороги (рис.16).

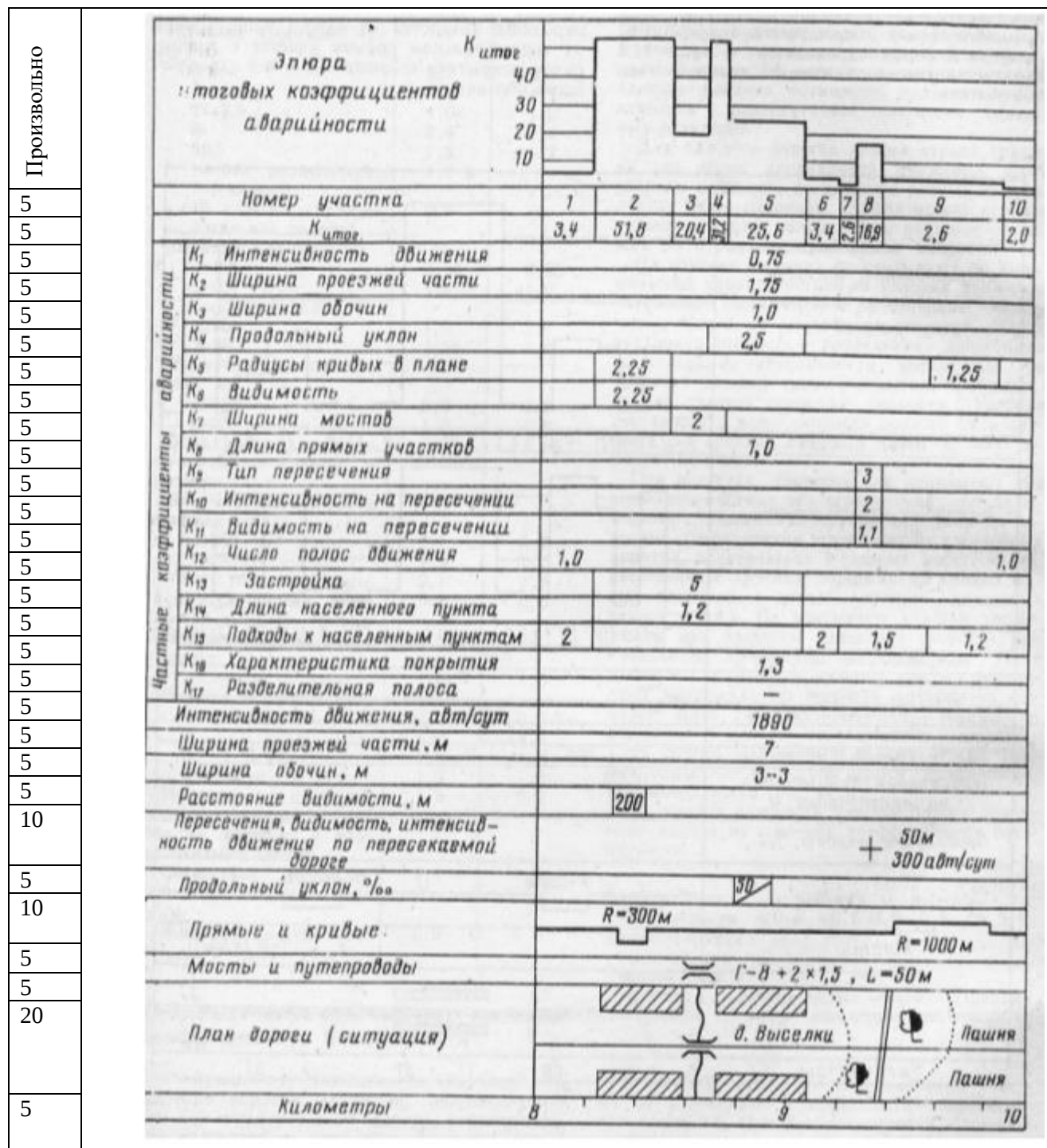


Рис.16. Сетка графика

В проектах реконструкции дорог и нового строительства рекомендуется перепроектировать участки, для которых итоговый коэффициент аварийности превышает 15-20.

В проектах улучшения дорог при капитальном ремонте в условиях холмистого рельефа следует предусматривать перестройку участков с коэффициентами аварийности более 25-40.

На горных дорогах с позицией безопасности движения допустимыми можно считать участки со значениями итогового коэффициента аварийности 35 и более 350. Но следует иметь в виду, что при значениях более 350 скорости движения и пропускная способность дороги значительно ниже.

При значениях итоговых коэффициентов аварийности близких к предельно допустимым, следует рекомендовать следующие мероприятия:

- производить разметку проезжей части, запрещающую обгон с выездом на встречную полосу;

- устанавливать знаки запрещения обгона и ограничения скорости при коэффициентах аварийности более 20-40;

- и др. мероприятия по обеспечению безопасности дорожного движения.

6. Выполняется ведомость итоговых коэффициентов аварийности (табл.31).

Таблица 31

Ведомость итоговых коэффициентов аварийности

№ участка	Пикетаж		Перемножение частных коэффициентов аварийности	K _{итог}
	От ПК+	До ПК +		

Например:

Объект: Реконструкция автомобильной дороги Богородское - Хороши в Кировской области (из III категории в IV)

Значения частных коэффициентов аварийности были определены по отечественным и зарубежным статическим данным о дорожно-транспортных происшествиях.

Справочные данные по частным коэффициентами аварийности, применяемым для дорог в равнинной и холмистой местностях, приведены в [табл. 1-18, 5].

График итоговых коэффициентов аварийности строим на основе продольного профиля плана трассы в следующей последовательности:

4. Вычерчиваем сетка графика с соблюдением размеров граф. Горизонтальный масштаб графика M:10000; вертикальный масштаб – произвольный.

5. В сетку заносим исходные данные по рассматриваемому участку дороги (интенсивность движения, размеры элементов поперечного профиля дороги, размеры элементов плана и продольного профиля, расстояние видимости, сведения о пересечениях, и т.д).

6. На основе исходных данных устанавливаем значения частных коэффициентов аварийности, которые записываются в соответствующие строки с учетом протяжения участка, на котором тот или иной коэффициент действует. Границы участков в каждой строке обозначаем вертикальными линиями зон влияния (табл.56).

Выявлены следующие участки:

1) ПК0+00 – ПК31+00;

- 2) ПК31+00 – ПК36+00;
- 3) ПК36+00 – ПК38+00;
- 4) ПК38+00 – ПК39+00 – опасный участок - съезд влево;
- 5) ПК39+80 – ПК 41+00 - опасный участок - съезд право;
- 6) ПК40+80 – ПК45+00;
- 7) ПК45+00 – ПК49+40;
- 8) ПК49+40– ПК91+10;
- 9) ПК91+10 – ПК92+10 - опасный участок - съезд влево;
- 10) ПК92+10 – ПК99+00.

Таблица 56

Зоны влияния опасных участков

Элементы дороги	Зоны влияния, м
Подъем и спуски	100 от вершины
	150 от подошвы спуска
Пересечения в одном уровне	В каждую сторону по 50
Кривые в плане с обеспеченной видимостью при радиусах более 400м	В каждую сторону по 50
Кривые в плане с необеспеченной видимостью при радиусах менее 400м	В каждую сторону по 100
Мосты и путепроводы	В каждую сторону по 75
Подходы к тоннелям	В каждую сторону по 150
Препятствия и глубокие обрывы вблизи от дороги	В каждую сторону по 50

7. Границы каждого из выделенных участков сносим в графу итоговых коэффициентов аварийности. В пределах полученных участков дороги последовательно определяем итоговые коэффициенты аварийности путем перемножения частных коэффициентов, действующих на данном участке по всем графам (табл.57).

5. Строим график коэффициентов аварийности, с указанием неопасных, малоопасных, опасных и наиболее опасных участков дороги.

В проектах реконструкции дорог и нового строительства рекомендуется перепроектировать участки, для которых итоговый коэффициент аварийности превышает 15-20.

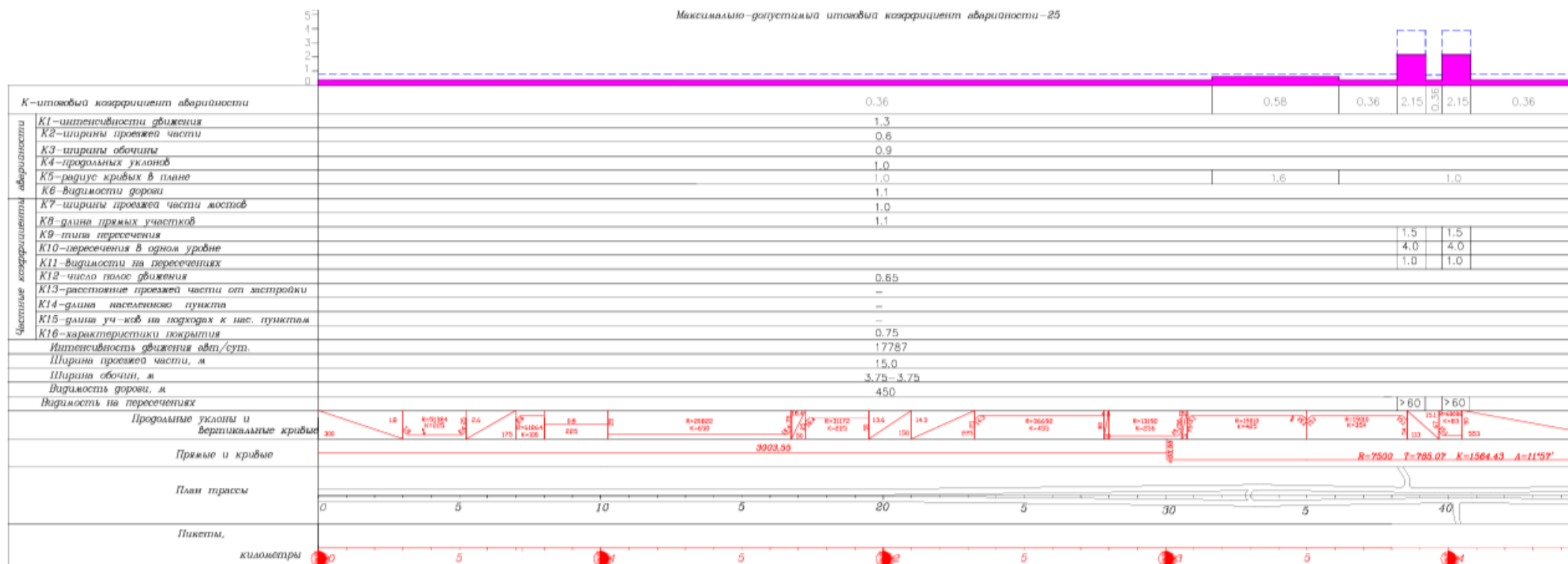
6. Заполним ведомость итоговых коэффициентов аварийности (табл.57).

Таблица 57

Ведомость итоговых коэффициентов аварийности

№ участка	Пикетаж		Перемножение частных коэффициентов аварийности	K _{итог}
	От ПК+	До ПК +		
1.	0+00	31+00	$1,3*0,6*0,9*1,0*1,0*1,1*1,0*1,1*0,65*0,75$	0,36
2.	31+00	36+00	$1,3*0,6*0,9*1,0*1,6*1,1*1,0*1,1*0,65*0,75$	0,58
3.	36+00	38+00	$1,3*0,6*0,9*1,0*1,0*1,1*1,0*1,1*0,65*0,75$	0,36
4.	38+20	39+00	$1,3*0,6*0,9*1,0*1,0*1,1*1,0*1,1**1,5*4,0*1,0*0,65*0,75$	2,15
5.	39+00	39+80	$1,3*0,6*0,9*1,0*1,0*1,1*1,0*1,1*0,65*0,75$	0,36
6.	39+80	41+00	$1,3*0,6*0,9*1,0*1,0*1,1*1,0*1,1**1,5*4,0*1,0*0,65*0,75$	2,15
7.	41+00	45+00	$1,3*0,6*0,9*1,0*1,0*1,1*1,0*1,1*0,65*0,75$	0,36
8.	45+00	49+40	$1,3*0,6*0,9*1,6*1,0*1,1*1,0*1,1*0,65*0,75$	0,58
9.	49+40	91+10	$1,3*0,6*0,9*1,0*1,0*1,1*1,0*1,1*0,65*0,75$	0,36
10.	91+10	92+10	$1,3*0,6*0,9*1,0*1,0*1,1*1,0*1,1**1,5*4,0*1,0*0,65*0,75$	2,15
11.	92+10	99+00	$1,3*0,6*0,9*1,0*1,0*1,1*1,0*1,1*0,65*0,75$	0,36

Вывод: Так как максимальный $K_{итог} < 15$, то реконструируемый участок является безопасным, цель разработки данной работы достигнута.



Пример оформления чертежа

Глава 6. Деталь

Данная глава разрабатывается по индивидуальному заданию, выданному преподавателем по одной из следующих тематик:

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 1 Расчёт многоступенчатого перепада для подведения воды по склону к стенке падения

Материал излагается по учебному пособию: Жуков В.И. Проектирование в сложных условиях: учеб. пособие. КрасГАСА, 2000. 95 с.

1.1 Общие положения

При проложении трассы дороги представляется возможность либо обойти овраг, либо его пересечь. Так как обход оврага ведёт к удлинению трассы дороги, то такое проложение приемлемо только для дорог низкой категории. Следует учесть, что продолжающийся рост оврагов в длину зачастую сводит на нет такое проложение трассы, поэтому чаще всего приходится пересекать овраг.

Существуют различные способы борьбы с разрастанием оврага, один из них – это перехват воды выше оврага **нагорными канавами**. В результате устройства канав часть воды задерживается на склонах и впитывается. Большую же часть воды необходимо спускать на дно оврага. Чтобы предотвратить размыв в вершине оврага и рост оврага в длину, проектируют различные сооружения. Наибольшее применение нашли стенки падения, колодцы, быстротоки, многоступенчатые перепады колодезного типа. Условия их применения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Искусственные водопропускные сооружения на косогорах

№	Наименование сооружений	Условия применения
1	Многоступенчатый перепад колодезного типа	При сбросе воды в овраг с пологой вершиной из нагорных и водоотводных канав и из искусственных сооружений при больших уклонах (10-20 ‰).
2	Стенка падения с водобойным колодцем на сбросе воды в овраг	Для сброса воды в глубокий овраг с вертикальным обрывом (например, в лёссовых грунтах) при расходах воды 1,0-1,5 м ³ /с и более. Гасители энергии в виде водобойных колодцев предпочтительно назначать в районах, где не наблюдается резкого понижения температуры.
3	Железобетонный быстроток прямоугольного сечения с водобойным колодцем	Для спуска воды из нагорных и водоотводных канав и из перепускных труб в косогорных условиях.

Часто эти сооружения проектируют в комплексе. На рис. 1 показан один из вариантов такого комплекса. С его помощью происходит постепенное гашение избыточной кинетической энергии водного потока, переходящей в другие виды энергии, за счёт взаимодействия струй воды между собой и с поверхностью сооружений

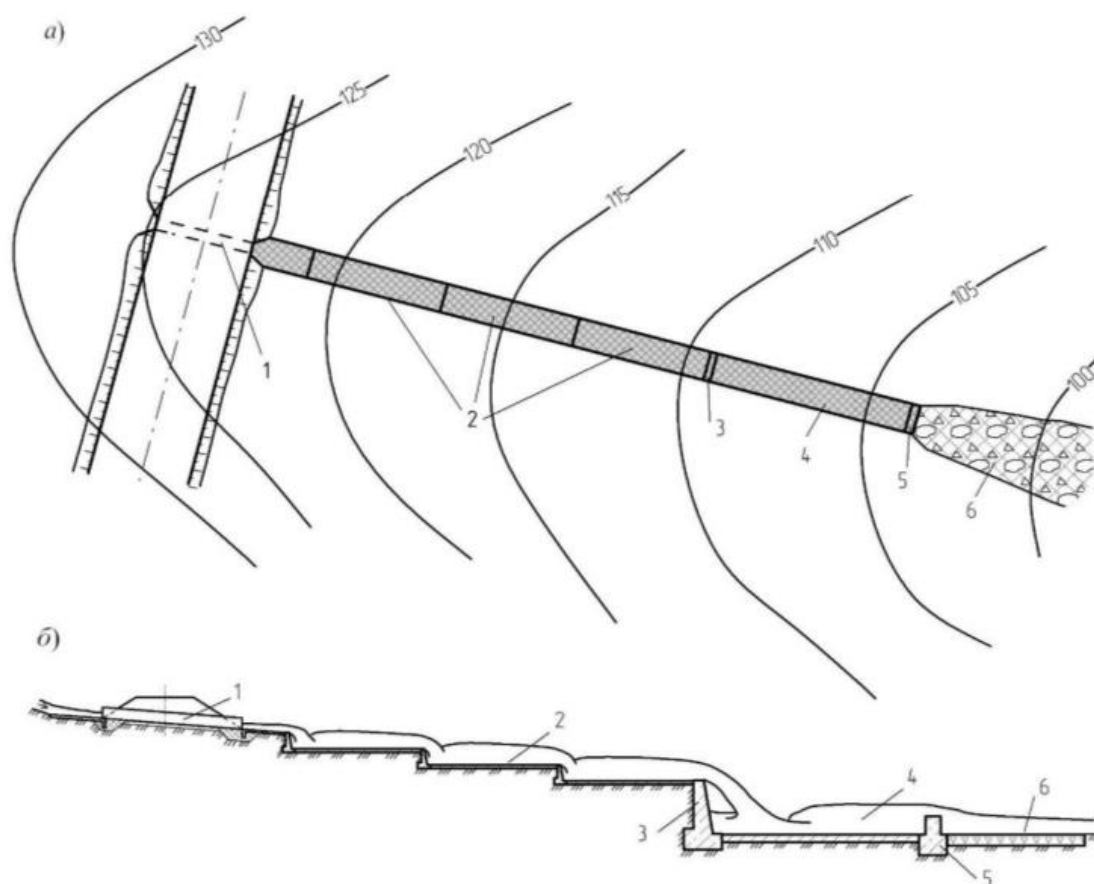


Рис.1 Схема комплекса укрепительных сооружений в вершине оврага:
а) – в плане; б) – в профиле; 1 – водопропускная труба; 2 – многоступенчатые перепады;
3 – стенка падения; 4 – водобойный колодец; 5 – водобойная стенка; 6 – рисберма

Для подведения воды со склона к стенке падения устраивают многоступенчатый перепад колодезного типа. Расчётная схема приведена на рис.2. Расчёт ведут с использованием теоретических положений гидравлики открытых русел [2].

Необходимы следующие исходные данные:

- расчётный расход Q_p (определяется для данного ливневого района по известным методам [3, 4]);
- высота ступени перепада P_1 ;
- количество ступеней n_n ($n_n = 3$ в данном случае);
- тип укрепления (мощение, бетонирование и др.);
- лоток у перепада – прямоугольного сечения;
- ширина лотка b .

1.2. Расчёт бытовой глубины и бытовой скорости потока в русле

Глубину и среднюю скорость воды в русле, соответствующие расчётному расходу Q_p в бытовых условиях (т.е. до строительства сооружения), называют бытовой глубиной и бытовой скоростью соответственно. Их определяют методом последовательных приближений. Обычно русло малого водотока имеет

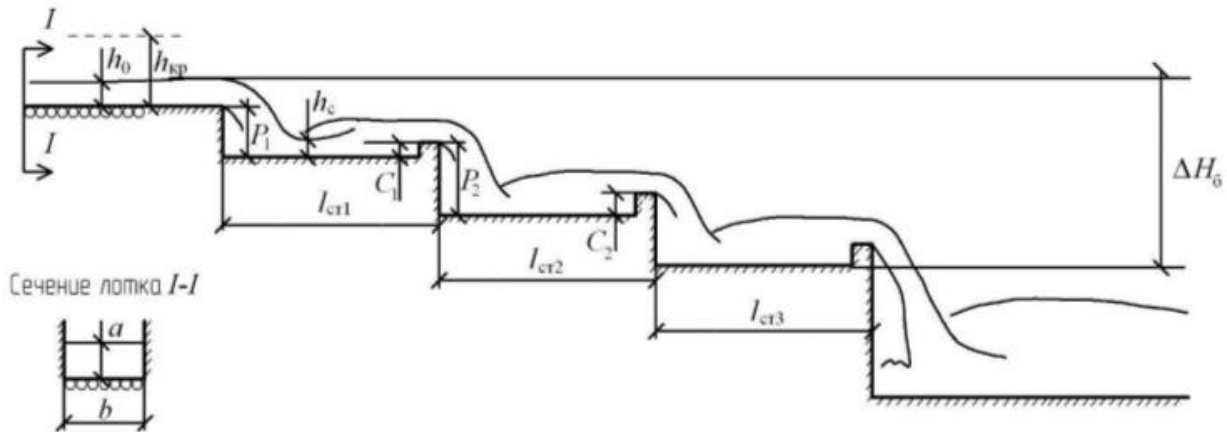


Рис.2. Гидравлическая схема расчета многоступенчатых перепадов

треугольное сечение.

Тогда, задаваясь начальным значением бытовой глубины h_6 , вычисляют следующие параметры:

- площадь живого сечения:

$$\omega = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} \right) h_6^2, \quad (1)$$

где i_1, i_2 – средние уклоны откосов русла;

- гидравлический радиус:

$$R = \frac{1}{2} h_6; \quad (2)$$

- коэффициент Шези:

$$c = \frac{R^{1/6}}{n}, \quad (3)$$

где n – коэффициент шероховатости откосов русла, см. табл. 2.

- бытовая скорость:

$$v_6 = c \sqrt{R \cdot i_n} \quad (4)$$

- расход воды:

$$Q = \omega v_6. \quad (5)$$

Таблица 2

Коэффициент шероховатости

Укрепление	n
Засев трав или одерновка	0,025
Мощение	0,02
Бетонные плиты	0,017
Неукрепленные канавы	0,03

Полученное значение сравнивают с Q_p , т. е. вычисляют относительную погрешность ε по зависимости

$$\varepsilon = \frac{|Q - Q_p|}{Q_p} \cdot 100. \quad (6)$$

Если она составляет более 5%, то необходимо задать новое значение бытовой глубины и расчёты повторить. Для удобства результаты сводят в таблицу. Зная ширину лотка и бытовую скорость, зададим глубину равномерного течения в прямоугольном лотке, как

$$h_0 = \frac{Q_p}{v_6 \cdot b}. \quad (7)$$

1.3. Расчёт многоступенчатого перепада

Расчёт сооружения, показанного на рис.2, ведут в следующей последовательности.

Расчет первой ступени

1. Определяют критическую глубину $h_{кр}$. (прил. 1) по формуле

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q_p^2}{g b^2}}, \quad (8)$$

где α – коэффициент кинетической энергии; Q_p – расчётный расход, m^3/c ; b – ширина лотка (канавы) по дну, м; g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

2. Вычисляют глубину и скорость в сжатом сечении после перепада, предварительно определив вспомогательную величину Z и установив условия:

- при $h_{кр} < h_0$ глубина потока на пороге перепада $h_p = 0,7 \cdot h_{кр}$, тогда площадь живого сечения в лотке $\omega_p = b \cdot 0,7 h_{кр}$;

- при $h_{кр} > h_0$ глубина потока на пороге перепада $h_p = h_0$, тогда площадь живого сечения в лотке $\omega_p = b h_0$.

Скорость на пороге перепада

$$V_p = \frac{Q_p}{\omega_p}. \quad (9)$$

Вспомогательная величина

$$Z = \frac{V_p^2}{2g} + P_1 + \frac{h_p}{2}. \quad (10)$$

Тогда глубина в сжатом сечении (первая сопряжённая глубина)

$$h_c = \frac{Q_p}{b\sqrt{2gZ}}. \quad (11)$$

Скорость в сжатом сечении

$$V_c = \sqrt{V_p^2 + 2g\left(P_1 + \frac{h_p}{2}\right)}. \quad (12)$$

3. Определяют вторую сопряжённую глубину в русле по формуле

$$h_c'' = \frac{h_c^2}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{8h_{кр}^3}{h_c^3}} - 1 \right) \quad (13)$$

4. Вычисляют высоту первой водобойной стенки C_1 в таком порядке:

- полный напор над водобойной стенкой определяют из формулы пропускной способности водослива

$$H_{полн} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{2gm_1^2b^2}}, \quad (14)$$

где коэффициент расхода водослива $m_1 = 0,42$;

- скоростной напор перед водобойной стенкой

$$H_v = \frac{\alpha Q^2}{2gb^2(h_c'')^2}, \quad (15)$$

где $\alpha = 1,1$;

- напор над стенкой без скоростного напора (геометрический напор)

$$H_z = H_{полн} - H_v; \quad (16)$$

- высота водобойной стенки

$$C_1 = 1,05h_c'' + \frac{0,056q^2}{(h_c'')^2} - 0,661\sqrt{q^2} \quad (17)$$

где q – удельный расход воды на единицу ширины лотка, составляющий

$$q = \frac{Q}{b}. \quad (18)$$

5. Находят длину первой ступени перепада

$$l_{ст1} = l_{пад1} + l_{пр1}, \quad (19)$$

где $l_{пад1}$ – длина падения струи, определяемая, как

$$l_{пад1} = V_0 \sqrt{\frac{2P_1 + h_p}{2g}} \quad (20)$$

где $l_{пр1}$ – длина подпёртого гидравлического прыжка, равная

$$l_{пр1} = 3h_c''. \quad (21)$$

Расчёт второй ступени:

1. Назначают глубину воды перед водобойной стенкой $h_p = H_z$.
2. Площадь живого сечения $\omega_p = b h_p$.
3. Скорость протекания воды над стенкой вычисляют по формуле (9).
4. Высота падения струи

$$P_2 = P_1 + C_1. \quad (22)$$

5. Скорость в сжатом сечении потока

$$V_c = \sqrt{V_p^2 + 2g \left(P_2 + \frac{h_p}{2} \right)}. \quad (23)$$

6. Площадь сжатого сечения

$$\omega_c = \frac{Q}{V_c}. \quad (24)$$

7. Глубина воды в сжатом сечении

$$h_c = \frac{\omega_c}{b}. \quad (25)$$

8. По формуле (13) вычисляют вторую сопряжённую глубину h_c''

9. Определяют высоту второй водобойной стенки C_2 в такой последовательности:

- полный напор перед водобойной стенкой по формуле (14);
- скоростной напор перед водобойной стенкой по формуле (15);
- геометрический напор перед водобойной стенкой по формуле (16);
- высоте второй водобойной стенки по формуле (17)

10. Проверяют условие $C_2 + H_z < P_2$. Если оно выполняется, то первая водобойная стенка работает как незатопленный водослив, и расчёт её высоты считается законченным. Если не выполняется, то стенка работает как затопленный водослив и следует сделать перерасчёт, увеличив высоту первой ступени перепада P_1 .

11. Определяют длину второй ступени перепада:

$$l_{ст2} = l_{пад2} + l_{пр2} \quad (26)$$

где

$$l_{пад2} = V_0 \sqrt{\frac{2P_2 + h_p}{2g}};$$

$$l_{пр2} = 3h_c''. \quad (27-28)$$

Аналогично рассчитывают последующие стенки или принимают равными по длине и высоте элементам второй ступени при незначительном изменении высоты стенки. 12.

Определяют *схему работы последней водобойной стенки*. Если $C_3 > h_6$, то стенка работает, как незатопленный водослив, и расчёт на этом заканчивается. После установления высоты стенки определяют скорость протекания воды за ней на рисберме по формуле

$$V_{\text{рисб}} = \sqrt{V_{\text{рз}}^2 + 2g \left(C_3 + \frac{H_{z3}}{2} \right)} \quad (30)$$

где H_3 – геометрический напор над стенкой

$$H_3 = h_c'' - C^{(3)},$$

$$V_{\text{рз}} = \frac{Q_{\text{р}}}{H_{z3} b}.$$

Принимая скорость воды на рисберме в качестве неразмывающей, назначаем по табл. 3 тип укрепления на рисберме.

Таблица 3

Назначение укрепления по неразмывающей скорости

Тип укрепления	Размер камня, см	Допустимые скорости течения, м/с, при средней глубине потока			
		0,4 м	1,0 м	2,0 м	3,0 м
Одерновка плашмя	–	0,9	1,1	1,3	1,4
Одерновка в стенку	–	1,5	1,8	2,0	2,2
Каменная наброска из	7,5	2,0	2,4	2,8	3,1
булыжника с галькой					
Грунты, укрепленные битумом	–	2,3	2,7	3,0	3,3
Одиночное мощение на щебне	15,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	20,0	3,0	3,5	4,0	4,5
	25,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Двойное мощение из рваного камня на щебне	15,0-20,0	3,5	4,5	5,0	5,5
Бутовая кладка из известняка	–	3,0	3,5	4,0	4,5
Бетон марки 150	–	6,0	7,0	8,0	9,0
Бутовая кладка из камня крепких пород	–	6,5	8,0	10,0	12,0
Бетонные лотки	–	12,0	14,0	16,0	18,0

Источники информации:

1. Жуков, В.И. Проектирование в сложных условиях: учеб. пособие. КрасГАСА, 2000 г.
2. Константинов, Н.М. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: учеб. для вузов: в 2-х ч. Ч. II. Специальные вопросы / Н.М. Константинов, Н.А. Петров, Л.И. Высоцкий. – М.: Высш. шк., 1987. – 431 с.
3. Федотов, Г.А., Поспелов, П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн.1: Учебник. – М.: Высш. шк., 2009. 646 с.
4. www.road-project.okis.ru / Основы проектирования / Лекции / Проектирование малых искусственных сооружений / Определение максимальных расходов воды. 5. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. 139 с.
6. Руководство по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений и русел. – М.: Транспорт, 1967 [Электронный ресурс].
7. Типовые проекты. Земляное полотно автомобильных дорог общего пользования. – М.: Стройиздат, 1987.

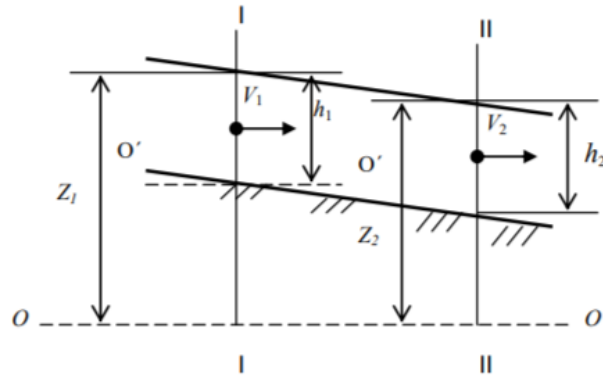
Понятие критической глубины и гидравлического прыжка

Уравнение Бернулли, выражающее закон сохранения энергии

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$$

где Z_1, Z_2 – высота положения жидкости относительно горизонтальной плоскости сравнения О–О в сечениях I-I и II-II соответственно; P_1, P_2 – гидродинамическое давление жидкости в сечениях I-I и II-II соответственно; γ – удельный вес воды; V_1, V_2 – скорости течения жидкости в сечениях I-I и II-II соответственно; g – ускорение свободного падения; α_1, α_2 – коэффициент скорости в сечениях I-I и II-II соответственно.

Рис. П1. Схема



Удельная энергия потока:

$$e_1 = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$$

Если плоскость сравнения О' – О' провести через наивысшую точку сечения, то для сечения I-I, функция будет называться удельной энергией сечения и примет вид:

$$e_i = Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{\alpha_i v_i^2}{2g},$$



При $Q=const$ удельная энергия сечения зависит только от глубины потока, т.е. является функцией $e=f(h)$.

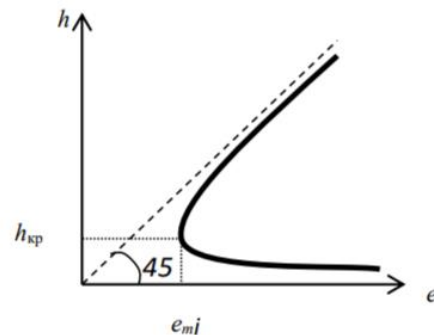


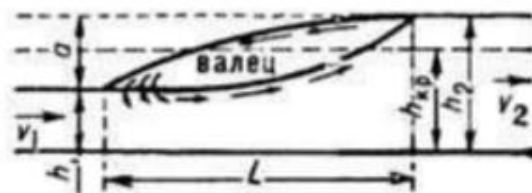
Рис. П.2 – График удельной энергии сечения

Глубина потока, при которой удельная энергия сечения достигает минимального значения называется *критической*.
 При $h > h_{кр}$ – поток *спокойный*; $h = h_{кр}$ – *критический*; $h < h_{кр}$ – *бурный*.

Сопряжение бурного потока воды из отводящего русла, со *спокойным* бытовым в водотоке происходит посредством гидравлического прыжка.

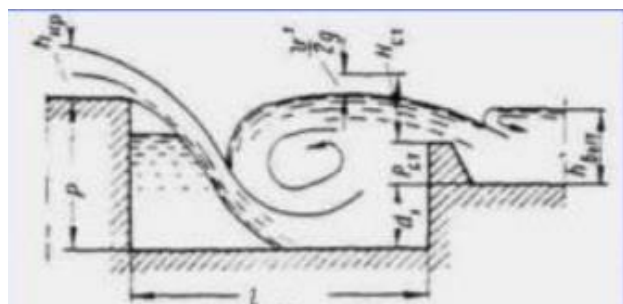
Гидравлический прыжок – это скачкообразное возрастание глубины потока (рис. 3). В вальце гидравлического прыжка идёт интенсивное перемешивание воды и за счёт трения водяных струй происходит уменьшение кинетической энергии.

Рис. ПЗ – Схема гидравлического прыжка; h_1 (h') и h_2 (h'') – первая и вторая сопряженная глубины прыжка соответственно; $h_{кр}$ – критическая глубина



Гидравлический прыжок бывает *свободным*, как на рис. ПЗ, так и *подпёртым*. Последнее имеет место при устройстве *водобойной стенки*. Если гидравлический прыжок поместить в *водобойный колодец*, то в нем гашение энергии произойдет гораздо быстрее (рис. П4). На выходе из водобойного колодца скорости потока должны быть снижены до значений, не приводящих к размывам русла.

Рис.П4 – Схема гашения энергии в водобойном колодце



Например:

Расчёт многоступенчатого перепада

Часть 1. Определение глубины потока в бытовом состоянии

Исходные данные	Обозн.	Ед. изм.	Значение
Расчётный расход	Q_p	м ³ /с	3,50
Средние уклоны откосов русла в овраге	i_1		0,20
	i_2		0,3
Средний уклон дна оврага	$i_{дл}$		0,10
Коэффициент шероховатости откосов русла	n		0,03
Начальное приближение бытовой глубины	$h_{б,0}$	м	0,42
Расчётный шаг по глубине	Δh	м	0,01

Расчёт методом последовательных приближений

Номер итерации	1	2	3	4
Приближение, $h_{бi} = h_{б,i-1} + \Delta h$, м	0,4300	0,4400	0,4500	0,4600
Площадь живого сечения, ω , м ²	0,7704	0,8067	0,8438	0,8817
Гидравлический радиус, R , м	0,2150	0,2200	0,2250	0,2300
Коэффициент Шези	25,79	25,89	25,98	26,08
Бытовая скорость, v_b , м/с	3,7811	3,8395	3,8975	3,9550
Расход воды, Q , м ³ /с	2,9130	3,0972	3,2885	3,4870
Относительная погрешность, %	16,77	11,51	6,04	0,37
Найденная бытовая глубина h_b , м	0,45			
Найденная бытовая скорость v_b , м	3,90			

Часть 2. Расчёт многоступенчатого перепада

Заданные величины	Обозн.	Ед. изм.	Значение
Расчётный расход	Q_p	м ³ /с	3,50
Высота ступени перепада	P	м	1,10
Количество ступеней перепада	n		3
Ширина лотка	b	м	0,90
Глубина воды в отводящей канаве	h_6	м	0,45

Ускорение свободного падения	g	м/с ²	9,81
Коэффициент кинетической энергии	α		1,1
Коэффициент водослива	m_1		0,42

Расчётные величины	Обозн.	Ед.изм.	1 перепад	2 перепад	3 перепад
Глубина воды в лотке при равномерном движении	h_0	м	1,00		
Удельный расход воды	q	м ² /с	3,89	3,89	3,89
Критическая глубина	$h_{кр}$	м	1,19	1,19	1,19
Глубина потока на пороге перепада	h_p	м	1,00	1,07	0,34
Площадь живого сечения на пороге перепада	ω_p	м ²	0,898	0,96	0,30
Скорость на пороге перепада	V_p	м/с	3,90	3,64	11,59
Высота порога	P_i	м	1,10	1,45	1,78
Вспомогательная величина	Z	м	2,37	2,65	8,80
Скорость воды в сжатом сечении	V_c	м/с	6,82	7,22	13,14
Глубина воды в сжатом сечении	h_c	м	0,57	0,54	0,30
Площадь сжатого сечения	ω_c	м ²	0,513	0,485	0,266
Вторая сопряжённая глубина	h_c''	м	1,23	1,21	0,96
Высота водобойной стенки	C_i	м	0,35	0,34	0,25
Полный напор над водобойной стенкой	$H_{полн}$	м	1,63	1,63	1,63
Скоростной напор перед водобойной стенкой	H_v	м	0,56	0,58	0,93
Геометрический напор над стенкой	H_z		1,07	1,05	0,70
Проверка условия затопления				Выполнено	Выполнено
Длина падения струи	$l_{пад}$	м	1,57	1,48	4,17
Длина подлётого гидравлического прыжка	$l_{пр}$	м	3,70	3,63	2,87
Расстояние от порога до водобойной стенки	$l_{ст}$	м	5,27	5,12	7,04
Скорость на рисберме	$V_{рисб}$	м/с	3,88		

Принимаем окончательно:

Высота порога 1,10 м

Высота водобойной стенки 0,35 м

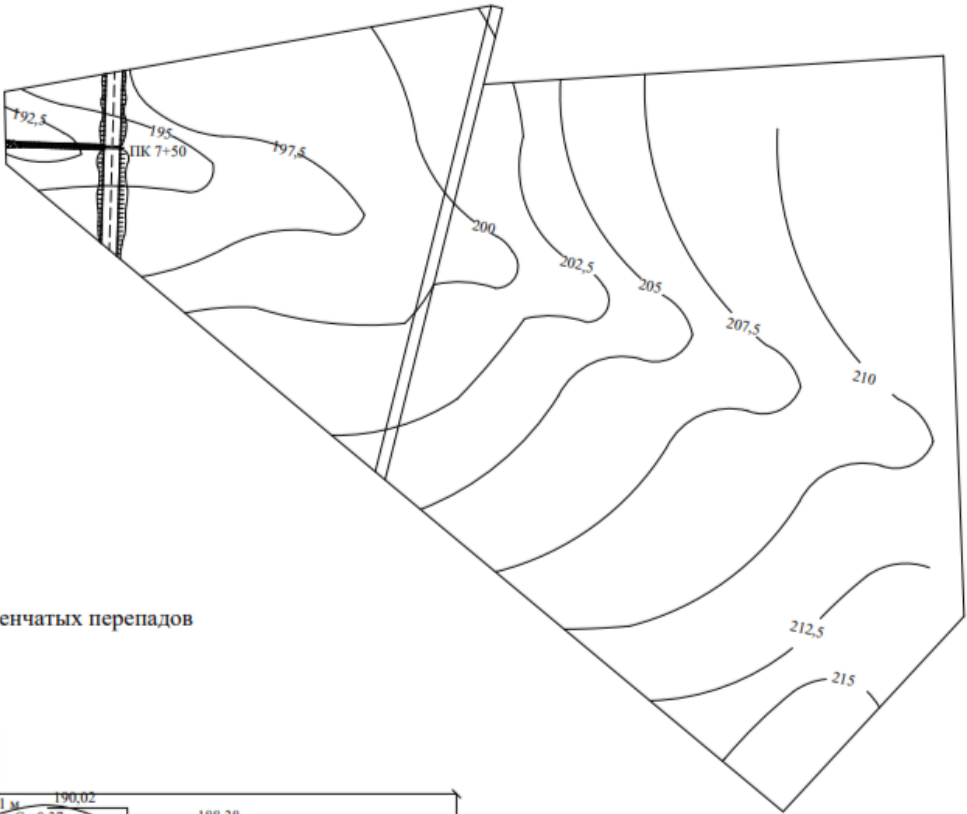
Расстояние от порога до водобойной стенки 7 м

Гидравлический расчет многоступенчатого перепада

Заданные величины	Обозначение	Ед. изм.	Значение		
Расчетный расход	Q_p	м ³ /с	3,44		
Высота ступени перепада	P	м	1,5		
Количество ступеней перепада	n		3		
Ширина лотка	b	м	0,9		
Глубина воды в отводящей канаве	h_6	м	0,36		
Ускорение свободного падения	g	м/с ²	9,81		
Коэффициент кинетической энергии	a		1,1		
Коэффициент водослива	m_l		0,42		
Расчётные величины	Обозн.	Ед. изм.	1 перепад	2 перепад	3 перепад
Глубина воды в лотке при равномерном движении	h_0	м	1,00		
Удельный расход воды	q	м ² /с	3,82	3,82	3,82
Критическая глубина	$h_{кр}$	м	1,18	1,18	1,18
Глубина потока на пороге перепада	h_p	м	1,00	1,53	1,52
Площадь живого сечения на пороге перепада	ω_p	м ²	0,9	1,38	1,36
Скорость на пороге перепада	V_p	м/с	3,82	2,49	2,52
Высота порога	P_i	м	1,6	2,0	2,0
Вспомогательная величина	Z	м	2,84	3,06	3,04
Скорость воды в сжатом сечении	V_c	м/с	7,5	7,7	7,7
Глубина воды в сжатом сечении	h_c	м	0,51	0,49	0,49
Площадь сжатого сечения	ω_c	м ²	0,5	0,4	0,4
Вторая сопряженная глубина	h_{c^*}	м	1,30	1,27	1,28
Высота водобойной стены	C_i	м	0,37	0,36	0,36
Полный напор над водобойной стеной	$H_{полн}$	м	2,02	2,02	2,02
Свободный напор перед водобойной стеной	H_v	м	0,49	0,50	0,50
Геометрический напор над стеной	H_z	м	1,53	1,52	1,52
Длина падения струи	$l_{пад}$	м	7,92	9,05	9,01
Длина подбёртого гидравлического прыжка	$l_{пр}$	м	3,9	3,8	3,8
Расстояние от порога до водобойной стены	$l_{ст}$	м	11,8	12,9	12,8
Скорость на рисберге	$V_{рисб}$	м/с	5,11		

Схема комплекса укрепительных сооружений в вершине оврага

М 1:1000



Гидравлическая схема расчета многоступенчатых перепадов

М 1:200

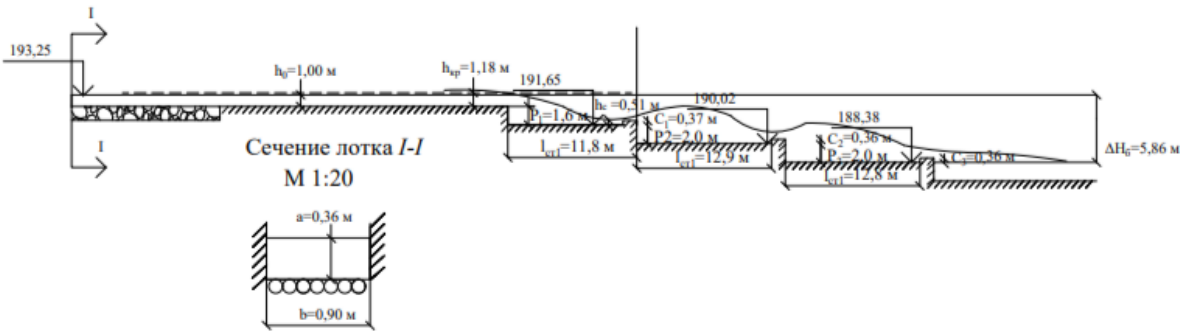


Рис. . Схема чертежа многоступенчатого перепада

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2

Расчёт стенки падения с водобойной стенкой в вершине оврага

Материал излагается по учебному пособию: Жуков В.И. Проектирование в сложных условиях: учеб. пособие. КрасГАСА, 2000. 95 с.

2.1. Общие положения

При проложении трассы дороги представляется возможность либо обойти овраг, либо его пересечь. Так как обход оврага ведёт к удлинению трассы дороги, то такое проложение приемлемо только для дорог низкой категории. Следует учесть, что продолжающийся рост оврагов в длину зачастую сводит на нет такое проложение трассы, поэтому чаще всего приходится пересекать овраг.

Существуют различные способы борьбы с разрастанием оврага, один из них – это перехват воды выше оврага нагорными канавами. В результате устройства канав часть воды задерживается на склонах и впитывается. Большую же часть воды необходимо спускать на дно оврага. Чтобы предотвратить размыв в вершине оврага и рост оврага в длину, проектируют различные сооружения. Наибольшее применение нашли стенки падения, колодцы, быстротоки, многоступенчатые перепады колодезного типа. Условия их применения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Искусственные водопропускные сооружения на косогорах

№	Наименование сооружений	Условия применения
1	Многоступенчатый перепад колодезного типа	При сбросе воды в овраг с пологой вершиной из нагорных и водоотводных канав и из искусственных сооружений при больших уклонах (10-20 ‰).
2	Стенка падения с водобойным колодцем на сбросе воды в овраг	Для сброса воды в глубокий овраг с вертикальным обрывом (например, в лёссовых грунтах) при расходах воды 1,0-1,5 м ³ /с и более. Гасители энергии в виде водобойных колодцев предпочтительно назначать в районах, где не наблюдается резкого понижения температуры.
3	Железобетонный быстроток прямоугольного сечения с водобойным колодцем	Для спуска воды из нагорных и водоотводных канав и из перепускных труб в косогорных условиях

Часто эти сооружения проектируют в комплексе.

На рис.1 показан один из вариантов такого комплекса. С его помощью происходит постепенное гашение избыточной кинетической энергии водного потока, переходящей в другие виды энергии, за счёт взаимодействия струй воды между собой и с поверхностью сооружений.

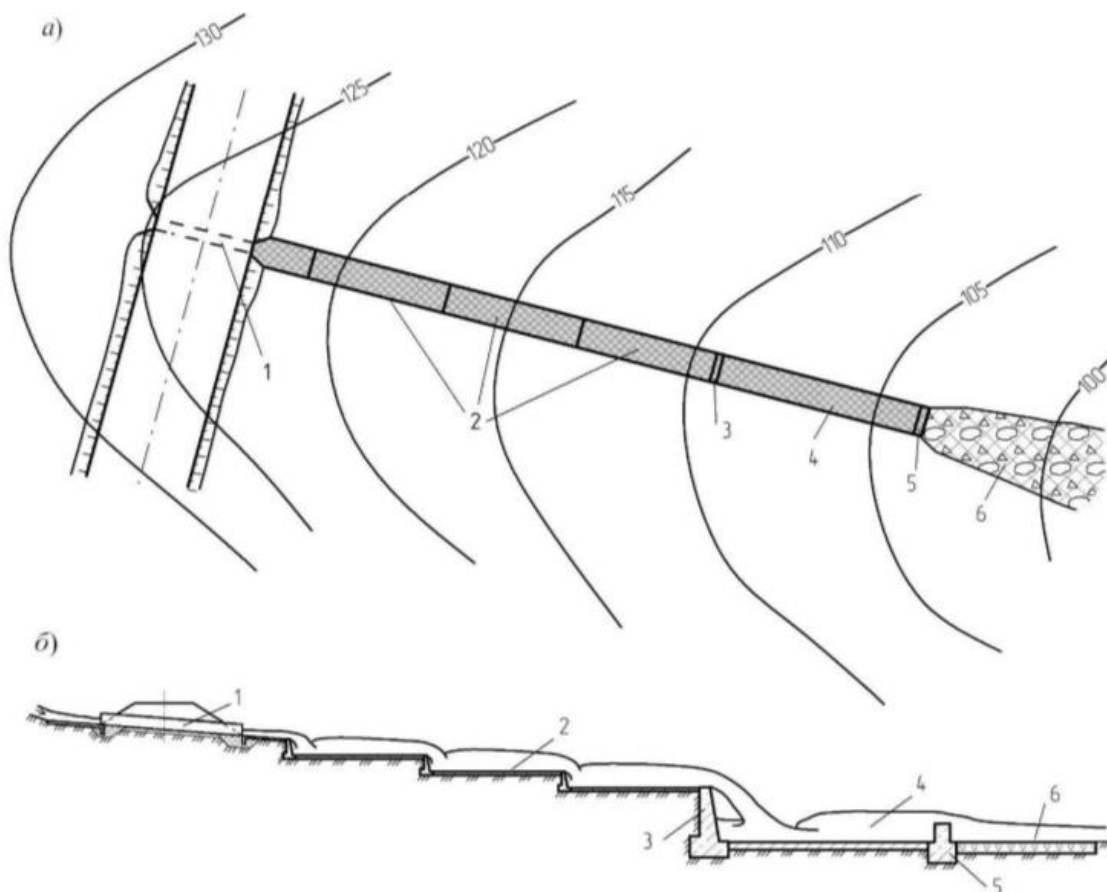


Рис. 1 - Схема комплекса укрепительных сооружений в вершине оврага:
а) – в плане; б) – в профиле; 1 – водопропускная труба; 2 – многоступенчатые перепады; 3 – стенка падения; 4 – водобойный колодец; 5 – водобойная стенка; 6 – рисберма

В данном разделе рассмотрим расчёт стенки падения с водобойной стенкой в вершине оврага. Его ведут с использованием теоретических положений гидравлики открытых русел [2]. Необходимы следующие исходные данные:

- расчётный расход Q_p (определяется для данного ливневого района по известным методам [3, 4]);
- высота стенки падения P ;
- ширина лотка b ;
- уклон дна лотка i_0 ;
- глубина воды в лотке при равномерном движении h_0 .
- глубина воды в отводящей канаве h_6 .

2.2. Расчёт бытовой глубины и бытовой скорости потока в русле

Глубину и среднюю скорость воды в русле, соответствующие расчётному расходу Q_p в бытовых условиях (т.е. до строительства сооружения), называют бытовой глубиной и бытовой скоростью соответственно. Их определяют

методом последовательных приближений. Обычно русло малого водотока имеет треугольное сечение. Тогда, задаваясь начальным значением бытовой глубины h_6 , вычисляют следующие параметры:

- площадь живого сечения:

$$\omega = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} \right) h_6^2, \quad (1)$$

где i_1, i_2 – средние уклоны откосов русла;

- гидравлический радиус:

$$R = \frac{1}{2} h_6; \quad (2)$$

- коэффициент Шези:

$$c = \frac{R^{1/6}}{n}, \quad (3)$$

где n – коэффициент шероховатости откосов русла, см. табл. 2;

- бытовая скорость:

$$v_6 = c \sqrt{R \cdot i_n}; \quad (4)$$

- расход воды:

$$Q = \omega v_6. \quad (5)$$

Таблица 2

Коэффициент шероховатости

Укрепление	n
Засев трав или одерновка	0,025
Мощение	0,02
Бетонные плиты	0,017
Неукрепленные канавы	0,03

Полученное значение сравнивают с Q_p , т. е. вычисляют относительную погрешность ε по зависимости

$$\varepsilon = \frac{|Q - Q_p|}{Q_p} \cdot 100. \quad (6)$$

Если она составляет более 5%, то необходимо задать новое значение бытовой глубины и расчёты повторить. Для удобства результаты сводят в таблицу.

2.3. Расчёт стенки падения

Расчёт сооружения, показанного на рис.2, ведут в следующей последовательности.

1. Определяют критическую глубину $h_{кр}$ по формуле

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q_p^2}{g b^2}}; \quad (7)$$

где α – коэффициент кинетической энергии; Q_p – расчётный расход, $\text{м}^3/\text{с}$;
 b – ширина лотка (канавы) по дну, м ; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$

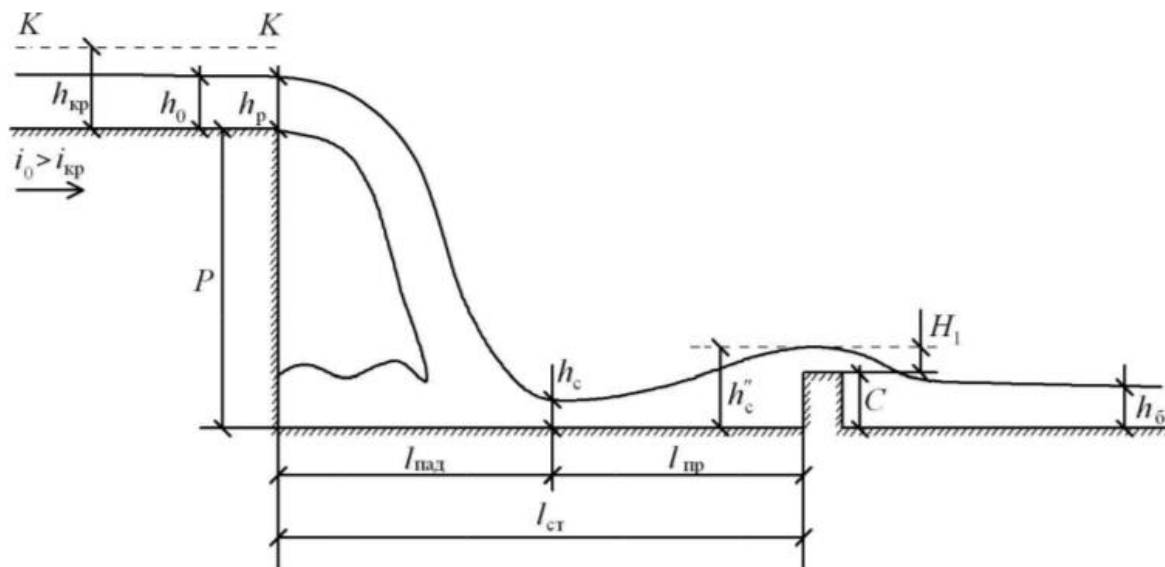


Рис.2. Гидравлическая схема расчёта стенки падения с водобойной стенкой

2. Вычисляют глубину в сжатом сечении после перепада, предварительно определив вспомогательную величину Z и установив условия:

- при $h_{кр} < h_0$ глубина потока на пороге перепада $h_p = 0,7h_{кр}$, тогда площадь живого сечения в лотке $\omega_p = b \cdot 0,7 h_{кр}$;

- при $h_{кр} > h_0$ глубина потока на пороге перепада $h_p = h_0$, тогда площадь живого сечения в лотке $\omega_p = bh_0$.

Скорость на пороге перепада

$$V_p = \frac{Q_p}{\omega_p}. \quad (8)$$

Вспомогательная величина

$$Z = \frac{V_p^2}{2g} + P + \frac{h_p}{2}. \quad (9)$$

Тогда, глубина в сжатом сечении (первая сопряжённая глубина)

$$h_c = \frac{Q_p}{b\sqrt{2gZ}} \quad (10)$$

3. Определяют вторую сопряжённую глубину в русле по формуле

$$h_c'' = \frac{h_c^2}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{8h_{кр}^3}{h_c^3}} - 1 \right) \quad (11)$$

4. Находят расстояние от стенки падения до водобойной стенки по формуле

$$l_{ст} = l_{пад} + l_{пр} \quad (12)$$

где $l_{пад}$ – длина падения струи, вычисляемая по зависимости

$$l_{\text{пад}} = V_p \sqrt{\frac{2P + h_p}{2g}}; \quad (13)$$

$l_{\text{пр}}$ – длина подпёртого гидравлического прыжка, равная

$$l_{\text{пр}} = 3h_c'' \quad (14)$$

5. Вычисляют высоту водобойной стенки

$$C = 1,05h_c'' + \frac{0,056q^2}{(h_c'')} - 0,661\sqrt[3]{q^2} \quad (15)$$

где q – удельный расход воды на единицу ширины лотка, вычисляемый по формуле

$$q = \frac{Q_p}{b} \quad (16)$$

6. Определяют схему работы водобойной стенки. Если $C > h_6$, то стенка работает, как незатопленный водослив, и расчёт на этом заканчивается.

7. После установления высоты стенки определяют скорость протекания воды за ней на рисберме по формуле

$$V_{\text{рисб}} = \sqrt{V_1^2 + 2g \left(C + \frac{H_1}{2} \right)}, \quad (17)$$

где H_1 – геометрический напор над стенкой,

$$H_1 = h_c'' - C^{(1)},$$

$$V_1 = \frac{Q_p}{H_1 b}.$$

8. Если $C < h_6$, то водобойная стенка работает, как затопленный водослив и тогда требуется сделать перерасчёт в такой последовательности:

- принять новую высоту водобойной стенки $C^{(1)}$;
- вычислить глубину затопления $h_{\text{п}} = h_6 - C^{(1)}$;
- определить геометрический напор перед стенкой $H_1 = h_c'' - C^{(1)}$;
- найти отношение $h_{\text{п}} / H_1$;
- определить коэффициент затопления $\delta_{\text{п}}$ по табл. 3.

Полный напор перед стенкой

$$H_{01} = H_1 + \frac{\alpha(V_c'')^2}{2g}, \quad (18)$$

Где V_c'' – скорость перед стенкой, определяемая по формуле

$$V_c'' = \frac{Q_p}{bh_c''}. \quad (19)$$

Расход

$$Q_1 = \delta_{\text{п}} m_1 b \sqrt{2g} \cdot H_{01}^{3/2}, \quad (20)$$

где m_1 – коэффициент расхода водослива. В данной схеме $m_1 = 0,42$. Полученный расход сравнивают с расчётным расходом Q_p . Расхождение не должно превышать 5 %. При большом расхождении делают перерасчёт, при этом снова изменяют высоту стенки на значение $C^{(2)}$.

При больших скоростях необходимо назначить укрепление русла – *рисберму* (участок крепления русла, расположенный за водобоем и предназначенный для гашения остаточной энергии потока и защиты водобоя от подмыва), исходя из значения неразмывающей скорости для данного грунта, или проектировать ещё одну водобойную стенку.

Таблица 3

Коэффициент затопления в зависимости от
относительной глубины затопления

$\frac{h_n}{H_1}$	δ_n	$\frac{h_n}{H_1}$	δ_n	$\frac{h_n}{H_1}$	δ_n	$\frac{h_n}{H_1}$	δ_n
0,05	0,997	0,42	0,953	0,60	0,868	0,935	0,524
0,10	0,995	0,44	0,949	0,70	0,856	0,940	0,506
0,15	0,990	0,46	0,945	0,75	0,823	0,945	0,489
0,20	0,985	0,48	0,940	-	-	-	-
0,25	0,980	0,50	0,935	0,80	0,776	0,950	-
-	-	0,52	0,930	0,85	0,710	0,955	0,446
0,30	0,972	0,54	0,925	0,90	0,621	0,960	0,421
0,32	0,970	0,56	0,919	0,905	0,689	0,965	0,395
0,34	0,967	0,58	0,913	0,910	0,596	0,970	0,357
0,36	0,964	0,60	0,906	0,915	0,583	0,975	0,319
-	-	0,62	0,897	0,920	0,570	0,980	0,277
0,38	0,961	0,64	0,888	0,925	0,590	0,985	0,229
0,40	0,957	0,66	0,879	0,930	0,540	0,990	0,170
-	-	-	-	-	-	0,995	0,100
-	-	-	-	-	-	1,000	0,000

Стенку устраивают из сборных железобетонных элементов или из местного камня. Конструкцию стенки падения необходимо назначить по типовым проектам [7].

Источники информации:

1. Жуков, В.И. Проектирование в сложных условиях: учеб. пособие. КрасГАСА, 2000 г.
2. Константинов, Н.М. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: учеб. для вузов: в 2-х ч. Ч. II. Специальные вопросы / Н.М. Константинов, Н.А. Петров, Л.И. Высоцкий. – М.: Высш. шк., 1987. – 431 с.
3. Федотов, Г.А., Поспелов, П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн.1: Учебник. – М.: Высш. шк., 2009. 646 с.
4. www.road-project.okis.ru / Основы проектирования / Лекции / Проектирование малых искусственных сооружений / Определение максимальных расходов воды.
5. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. 139 с.
6. Руководство по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений и русел. – М.: Транспорт, 1967 [Электронный ресурс].
7. Типовые проекты. Земляное полотно автомобильных дорог общего пользования. – М.: Стройиздат, 1987.

Например:

Расчёт стенки падения с водобойной стенкой в вершине оврага

Часть 1. Определение глубины потока в бытовом состоянии

Исходные данные	Обозн.	Ед. изм.	Значение
Расчётный расход	Q_p	м ³ /с	3,50
Средние уклоны откосов русла в овраге	i_1		0,20
	i_2		0,3
Средний уклон дна оврага	i_d		0,10
Коэффициент шероховатости откосов русла	n		0,03
Начальное приближение бытовой глубины	$h_{б,0}$	м	0,31
Расчётный шаг по глубине	Δh	м	0,05
Расчёт методом последовательных приближений			
Номер итерации	1	2	3
Приближение, $h_{бi} = h_{б,i-1} + \Delta h$, м	0,3600	0,4100	0,4600
Площадь живого сечения, ω , м ²	0,5400	0,7004	0,8817
Гидравлический радиус, R , м	0,1800	0,2050	0,2300
Коэффициент Шези	25,03	25,58	26,08
Бытовая скорость, v_b , м/с	3,3585	3,6628	3,9550
Расход воды, Q , м ³ /с	1,8136	2,5655	3,4870
Относительная погрешность, %	48,18	26,70	0,37
Найденная бытовая глубина, м	0,46		

Часть 2. Расчёт стенки падения

Исходные данные	Обозн.	Ед. изм.	Значение
Расчётный расход	Q_p	м ³ /с	3,50
Высота стенки падения	P	м	1,50
Ширина лотка	b	м	0,70
Уклон дна лотка	i_0		0,08
Глубина воды в лотке при равномерном движении	h_0	м	0,40
Глубина воды в отводящей канаве	h_b	м	0,46
Ускорение свободного падения	g	м/с ²	9,81
Коэффициент кинетической энергии	α		1,1

Расчёт гидравлических параметров

Удельный расход воды	q	м ² /с	5,00
Критическая глубина	$h_{кр}$	м	1,41
Глубина потока на пороге перепада	h_p	м	0,4
Площадь живого сечения	ω_p	м ²	0,28
Скорость на пороге перепада	V_p	м/с	12,50
Вспомогательная величина	Z	м	9,66
Глубина воды в сжатом сечении (первая сопряжённая глубина)	h_c	м	0,36
Вторая сопряжённая глубина	h_c''	м	1,36
Длина падения струи	$l_{пад}$	м	5,20
Длина подлётого гидравлического прыжка	$l_{пр}$	м	4,07
Расстояние от стенки падения до водобойной стенки	$l_{ст}$	м	9,27
Высота водобойной стенки	C	м	0,52
Напор над стенкой	H_1	м	0,83
Схема работы водобойной стенки	незатопленный водослив		
Скорость на пороге стенки	V_1	м/с	6,00
Скорость на рисберме	$V_{рисб}$	м/с	7,38

Перерасчет водобойной стенки по схеме затопленного водослива

Задаем новую высоту водобойной стенки $C^{(1)} > h_6$	$C^{(1)}$	м	
Глубина затопления	h_n	м	
Геометрический напор перед стенкой	H_1	м	
Отношение	h_n/H_1		
Коэффициент затопления (табл.2)	δ_n		
Скорость воды перед стенкой	V_c	м/с	
Полный напор перед стенкой	H_{01}	м	
Расход воды над водобойной стенкой	Q_1	м ³ /с	
Проверка		%	
Скорость на пороге стенки	V_1	м/с	
Скорость на рисберме	$V_{рисб}$	м/с	

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 3

Водоотвод на косогоре по схеме быстротока с водобойным колодцем

3.1. Общие положения

Нагорные канавы перехватывают воду, стекающую со склонов местности к автомобильной дороге. Воду из канав необходимо спускать на дно лога (рис.1).

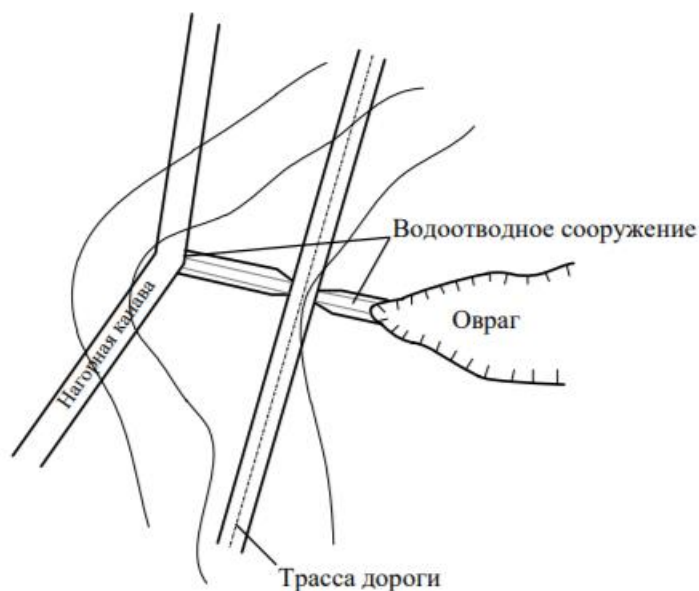


Рис. 1 . Трасса, нагорная канава и водоотводное сооружение в плане

Для этого проектируют быстротоки, перепады (ступенчатые русла), лейки, стенки падения, колодцы и другие сооружения, предотвращающие размыв русла [1, 2]. Наибольшее применение в дорожном строительстве получили стенки падения, колодцы, быстротоки и многоступенчатые перепады колодезного типа. Часто эти сооружения проектируют в комплексе. Условия применения различных сооружений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Искусственные водопропускные сооружения на косогорах

№	Наименование сооружений	Условия применения
1	Многоступенчатый перепад колодезного типа	При сбросе воды в овраг с пологой вершиной из нагорных и водоотводных канав и из искусственных сооружений при больших уклонах (10-20 ‰).
2	Стенка падения с водобойным колодцем на сбросе воды в овраг	Для сброса воды в глубокий овраг с вертикальным обрывом (например, в лёссовых грунтах) при расходах воды 1,0-1,5 м ³ /с и более. Гасители энергии в виде водобойных колодцев предпочтительно назначать в районах, где не наблюдается резкого понижения температуры.
3	Железобетонный быстроток прямоугольного сечения с водобойным колодцем	Для спуска воды из нагорных и водоотводных канав и из перепускных труб в косогорных условиях

Необходимо провести гидравлический расчёт данной системы сооружений.

В качестве исходных данных используются:

- Q_p – расчетный максимальный расход заданной вероятности превышения, м³/с;
- i_0 – продольный уклон по дну быстротока;
- L – длина быстротока.

Схема комплекса водопропускных сооружений в вертикальной плоскости показана на рис. 2.

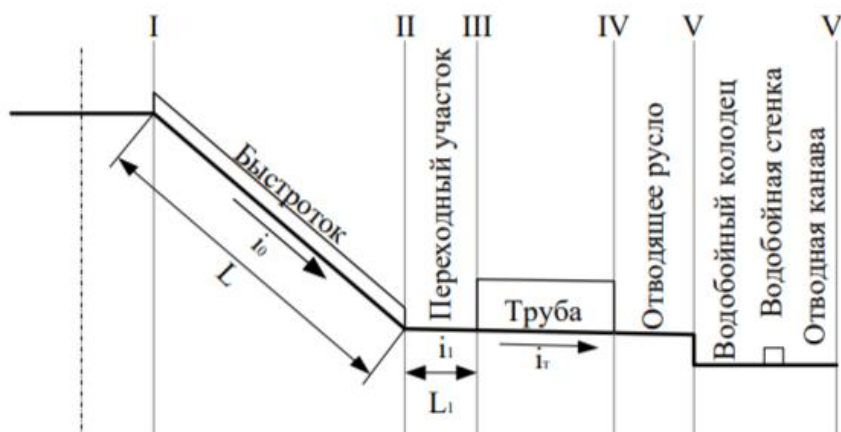


Рис.2. Схема быстротока с водобойным колодцем в вертикальной плоскости

Расчётный максимальный расход воды определяется по параметрам водосборного бассейна, номеру ливневого района и другим характеристикам [3,4].

Вероятность превышения расчётных паводков при сооружении водоотводных канав и кюветов принимают для дорог категорий:

- категорий I и II – 2 %,
- категории III – 3 %,
- категорий IV и V – 4 % [5].

Расчёт состоит из нескольких этапов.

3.2. Гидравлический расчёт быстротока

1). Назначаем допускаемую скорость и коэффициент шероховатости

Допускаемая скорость течения воды в железобетонном быстротоке равна 6 м/с ($v_{\text{доп}}=6,0$ м/с), коэффициент шероховатости бетона $n'=0,014$.

При уклоне быстротока $i_0 > 10\%$ необходимо учитывать аэрацию водного потока. Явление *аэрации* возникает при значительных скоростях воды и заключается в насыщении воды пузырьками воздуха, вследствие чего поток испытывает некоторое дополнительное торможение, учитываемое увеличением коэффициента шероховатости. Коэффициент аэрации a зависит от уклона быстротока и гидравлического радиуса [6].

В наших условиях его можно принять $a = 1,33$. Тогда коэффициент шероховатости с учётом аэрации составит:

$$n = a \cdot n' = 1,33 \cdot 0,014 = 0,0186 \quad (1)$$

Необходимая площадь живого сечения быстротока

$$\omega = \frac{Q_p}{v_{\text{доп}}} \quad (2)$$

2) Определяем по формуле Ю.Н. Даденкова **наивыгоднейшую ширину**

лотка быстротока: $b = 0,765 \cdot \sqrt[5]{Q_p^2}$ (3)

и округляем значение b до числа, кратного 5, например: $[0,67\text{м}] = 0,65$ м.

3) Находим глубину воды h_0 в быстротоке методом последовательных приближений и результаты сводим в таблицу (табл. 1).

Для этого сначала задаем начальное значение глубины (например, 0,05 м) и для него определяем следующие параметры:

- смоченный периметр $\chi = b + 2 \cdot h_0$; (4)

- гидравлический радиус $R = \frac{\omega}{\chi}$; (5)

- коэффициент Шези, $C = \frac{1}{n} \cdot R^y$; (6)

где y берется из таблицы 2,

- скорость потока $v = C \cdot \sqrt{R \cdot i_0}$; (7)

- расход воды $Q = \omega \cdot v$; (8)

- относительную погрешность $\varepsilon = \frac{Q - Q_p}{Q_p}$. (9)

Если $\varepsilon < 5\%$, то расчёт прекращаем, иначе увеличиваем глубину h .
Окончательная глубина – h_0 .

Таблица 1

Образец расчётной таблицы

h_0	χ	R	C	v	Q	ε
0,05						
0,1						

Таблица 2

Значения параметра y в зависимости от гидравлического радиуса

R	y		R	y
0,1	0,130		6,0	0,114
0,2	0,127		7,0	0,113
0,3	0,126		8,0	0,112
0,4	0,124		9,0	0,112
0,5	0,124		10,0	0,112
0,7	0,122		12,0	0,111
0,9	0,121		14,0	0,110
1,2	0,120		16,0	0,110
1,6	0,119		17,0	0,109
2,0	0,118		20,0	0,109
3,0	0,116			
4,0	0,115			
5,0	0,114			

4) Находим критическую глубину в начале быстротока (сечение I-I на рис. 2) по формуле

$$h_{кр} = \sqrt{\frac{\alpha \cdot Q_p}{g \cdot b^2}}, \quad (9)$$

где $\alpha = 1,1$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

5) Определяем длину кривой спада, т.е. расстояние от сечения с h_k до сечения с глубиной h_0 , в котором устанавливается равномерное течение.

Вычисляем:

- площади живого сечения в начале и конце быстротока соответственно:

$$\omega_k = h_k \cdot b; \quad \omega_0 = h_0 \cdot b \quad (11)$$

- удельную энергию сечения в начале и конце быстротока соответственно:

$$\mathcal{E}_k = h_k + \frac{\alpha \cdot Q_p^2}{2 \cdot g \cdot \omega_k^2}; \quad \mathcal{E}_0 = h_0 + \frac{\alpha \cdot Q_p^2}{2 \cdot g \cdot \omega_0^2} \quad (12)$$

- смоченный периметр в начале и конце быстротока соответственно:

$$\chi_k = b + 2 \cdot h_k; \quad \chi_0 = b + 2 \cdot h_0; \quad (13)$$

- гидравлический радиус в начале и конце быстротока соответственно:

$$R_k = \frac{\omega_k}{\chi_k}; \quad R_0 = \frac{\omega_0}{\chi_0} \quad (14)$$

- коэффициент Шези в начале и конце быстротока соответственно:

$$C_k = \frac{1}{n} \cdot R_k^y; \quad C_0 = \frac{1}{n} \cdot R_0^y; \quad (15)$$

- уклоны трения в начале и конце быстротока соответственно:

$$i_{fk} = \frac{Q_p^2}{C_k^2 \cdot R_k \cdot \omega_k^2}; \quad i_{f0} = \frac{Q_p^2}{C_0^2 \cdot R_0 \cdot \omega_0^2}; \quad (16)$$

- среднее значение уклона трения:

$$i_{fcp} = \frac{i_{fk} + i_{f0}}{2}; \quad (17)$$

- длину кривой спада:

$$l_{\text{сп}} = \frac{\mathfrak{E}_0 - \mathfrak{E}_k}{i_0 - i_{f\text{сп}}}. \quad (18)$$

6) Проверка:

Если $l_{\text{сп}} < L$, то в конце быстротока устанавливается равномерное движение воды

3.3 Расчёт переходного участка

Очертания поперечного профиля лотка изменяются от прямоугольного, в сечении II-II, до цилиндрического, в сечении III-III с радиусом R (перед трубой под насыпью). Во избежание образования гидравлического прыжка, трубу и переходный участок необходимо располагать с уклоном, превышающим критический i_{jk} . Ввиду резкого снижения уклона, на переходном участке образуется кривая подпора.

Расчётные данные для переходного участка приводим в таблицу.

Таблица 3

Расчётные данные для переходного участка

Длина переходного участка, м	Уклон на переходном участке, $i_{\text{п}}$	Расход, Q_p , $\text{м}^3/\text{с}$	Элемент сечения II-II			
			$\mathfrak{E}_0$	i_{f0}	h_0	v_0

Необходимо определить гидравлические параметры для сечения III-III. Порядок расчёта следующий:

- назначаем предварительную глубину h_1 ;
- вычисляем площадь живого сечения

$$\omega_1 = h_1 \cdot b_1, \quad (19)$$

где b_1 – ширина переходного участка на выходе;

- вычисляем смоченный периметр

$$\chi_1 = b_1 + 2 \cdot h_1 \quad (20)$$

- находим гидравлический радиус

$$R_1 = \frac{\omega_1}{\chi_1}. \quad (21)$$

Если уклон переходного участка $< 10\text{‰}$, то аэрация потока не учитывается и $n=0,014$, в противном случае используем формулу (1).

Далее, вычисляем:

- коэффициент Шези

$$C_1 = \frac{1}{n} \cdot R_1^y; \quad (22)$$

- удельную энергию сечения

$$\mathfrak{E}_1 = h_1 + \frac{\alpha \cdot Q_p^2}{2 \cdot g \cdot \omega_1^2}; \quad (23)$$

- угол трения

$$i_{j1} = \frac{Q_p^2}{C_1^2 \cdot R_1 \cdot \omega_1^2}; \quad (24)$$

- среднее значение уклона трения
$$i_{j_{\text{ср}}} = \frac{i_{j_0} + i_{j_1}}{2}; \quad (25)$$

- длину кривой подпора:
$$l_{\text{подп}} = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_0}{i_1 - i_{j_{\text{ср}}}}. \quad (26)$$

Если $l_{\text{подп}} \leq L_1$, то длина переходного участка подобрана правильно.

Определяем скорость на выходе из переходного участка:

$$v = \frac{Q_p}{\omega_1} \quad (27)$$

3.4. Расчёт трубы

Расчёт трубы ведём аналогично. В круглой трубе вычисляем площадь живого сечения и другие характеристики по формулам (28-30):

$$\begin{aligned} \omega_2 &= \frac{1}{2} \cdot \left(l \cdot \frac{d}{2} - b \cdot \left(\frac{d}{2} - h \right) \right); \\ b_2 &= 2 \cdot \sqrt{h \cdot d - h^2}; \\ \chi_2 &= \sqrt{b^2 + \frac{16 \cdot h^2}{3}}. \end{aligned} \quad (28 - 30)$$

Во избежание образования подпора перед трубой глубину воды в начале трубы не допускается предусматривать более $0,5d$.

3.5. Расчёт отводящего русла

Расчёт отводящего русла производится аналогично алгоритму, изложенному в п. 3.2.

На выходе из отводящего русла получаем значения h_3 , v_3 , b_3 .

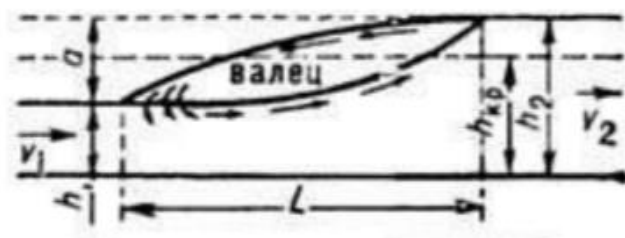
3.6. Расчет водобойного колодца

Сопряжение *бурного потока* воды из отводящего русла, со спокойным бытовым в водотоке происходит посредством гидравлического прыжка. *Гидравлический прыжок* – это скачкообразное возрастание глубины потока (рис. 3).

В вальце гидравлического прыжка идёт интенсивное перемешивание воды и за счёт трения водяных струй происходит уменьшение кинетической энергии. Гидравлический прыжок бывает *свободным* (рис.2), так и *подпёртым*. Последнее имеет место при устройстве водобойной стенки.

Рис.3. Схема гидравлического прыжка:

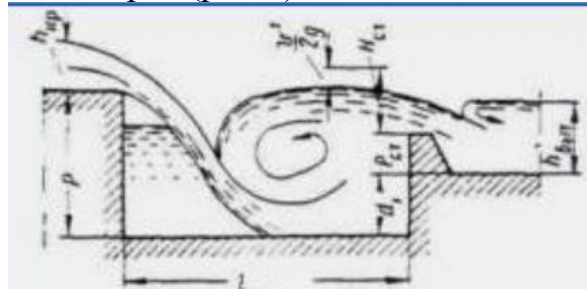
h_1 (h') и h_2 (h'') – первая и вторая сопряженная глубины прыжка соответственно; $h_{\text{кр}}$ – критическая глубина



Если гидравлический прыжок поместить в *водобойный колодец*, то в нем

гашение энергии произойдет гораздо быстрее (рис.4).

Рис. 4. Схема гашения энергии в водобойном колодце



На выходе из водобойного колодца скорости потока должны быть снижены до значений, не приводящих к размывам русла.

Далее, определяем глубину в сжатом сечении:

$$h_c = \frac{Q_p}{b_3 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot Z}} \quad (31)$$

$$Z = \frac{v_3^2}{2 \cdot g} + P + \frac{h_3}{2} \quad (32)$$

где

Глубина в сжатом сечении является первой сопряженной глубиной гидравлического прыжка.

Находим вторую сопряженную глубину:

$$h'' = \frac{h_c}{2} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{8 \cdot h_{кр}^3}{h_c^3}} - 1 \right) \quad (33)$$

критическую глубину

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q_p^2}{g \cdot b_3^2}} \quad (34)$$

высоту прыжка:

$$h_{пр} = \sigma \cdot h'' - h_{кр} \quad (35)$$

Гидравлический прыжок бывает отогнанным и затопленным. В последнем случае гашение кинетической энергии происходит более интенсивно. Степень затопления прыжка характеризуется σ – коэффициентом затопления прыжка, принимаемым 1,05.

Находим погрешность расчёта

$$\varepsilon_1 = \frac{P - h_{пр}}{h_{пр}} \quad (36)$$

и проверяем условие. Если $\varepsilon_1 \leq 5\%$, то глубина колодца назначена верно, иначе изменяем глубину P.

Длина водобойного колодца вычисляется по зависимости

$$l_{кол} = l_{пад} + l_{пр} \quad (37)$$

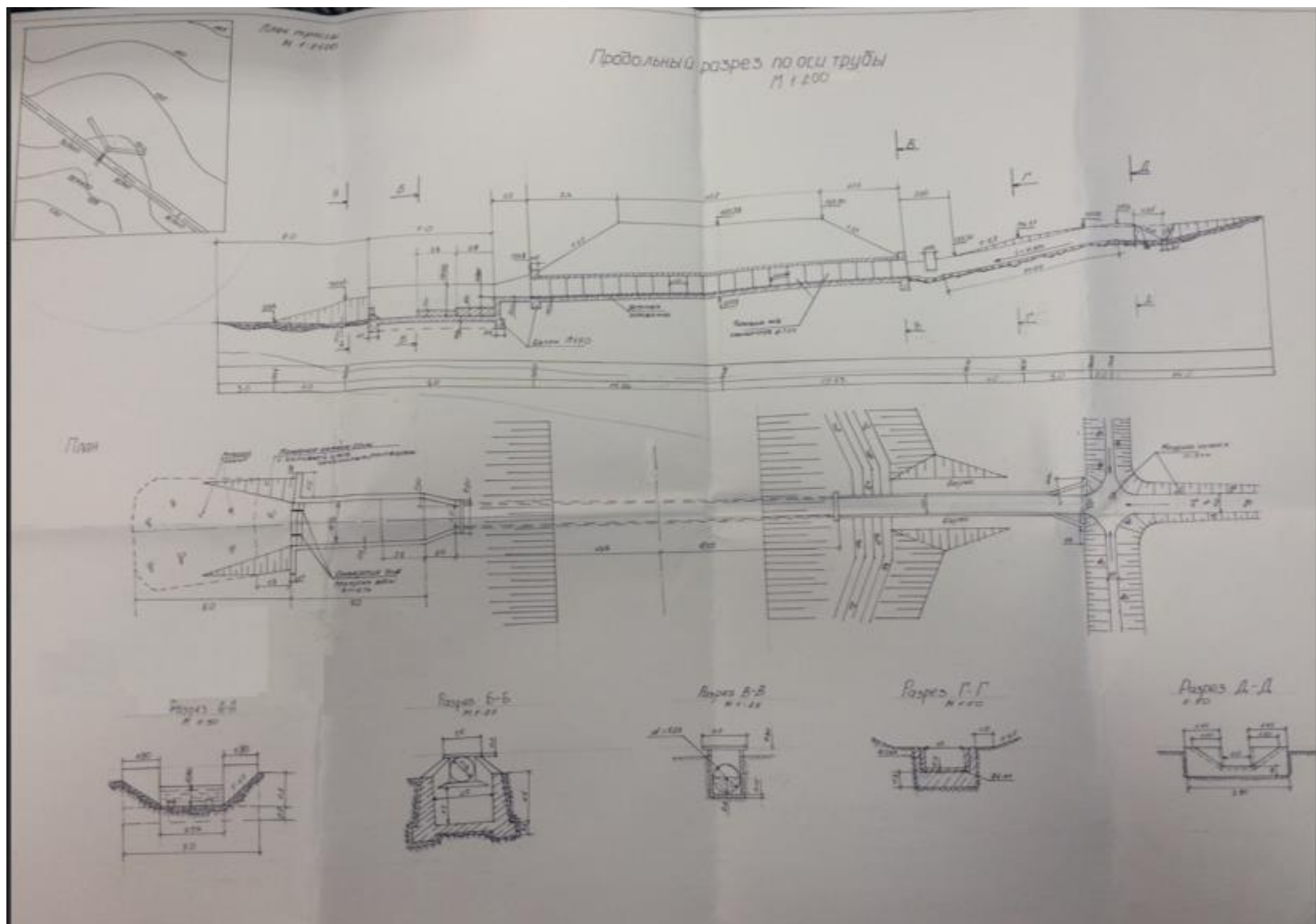
где $l_{пад}$ – длина падения струи, $l_{пр}$ – длина подпёртого прыжка.

Длина падения струи:

$$l_{пад} = v_3 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P + h_3}{g}} \quad (38)$$

- длина подпёртого водобойной стенкой прыжка:

$$l_{пр} = 2,25 \cdot h'' \quad (39)$$



Пример чертежа «Водоотвод на косогоре»

Источники информации

1. Жуков, В.И. Проектирование в сложных условиях: учеб. пособие. КрасГАСА, 2000 г.
2. Федотов, Г.А., Пospelов, П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн.1: Учебник. – М.: Высш. шк., 2009. 646 с.
3. www.road-project.okis.ru / Основы проектирования / Лекции / Проектирование малых искусственных сооружений / Определение максимальных расходов воды.
4. www.road-project.okis.ru / Основы проектирования / Курсовой проект / Нагорная канава.
5. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. 139 с.
6. Руководство по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений и русел. – М.: Транспорт, 1967 [Электронный ресурс].

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ №4

Расчёт осадки насыпи методом послойного суммирования

4.1. Расчёт глубины активной зоны

Прогноз устойчивости и осадки основания насыпи осуществляют на основе расчетов [1]. Осадку насыпей определяют на заданных вертикалях поперечного профиля, как суммарную деформацию столба грунта до практически несжимаемых плотных слоёв.

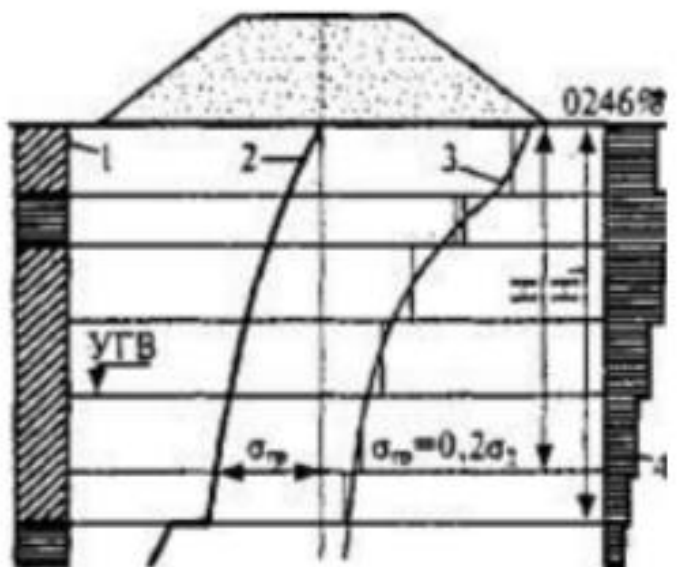


Рис. 1. Напряжения в грунте основания

Считают, что мощность *активной зоны*, в пределах которой необходимо суммировать деформации грунтовой толщи, необходимо принимать до глубины, на которой напряжения от веса насыпи составляют некоторую долю K от собственного веса деформируемого грунта:

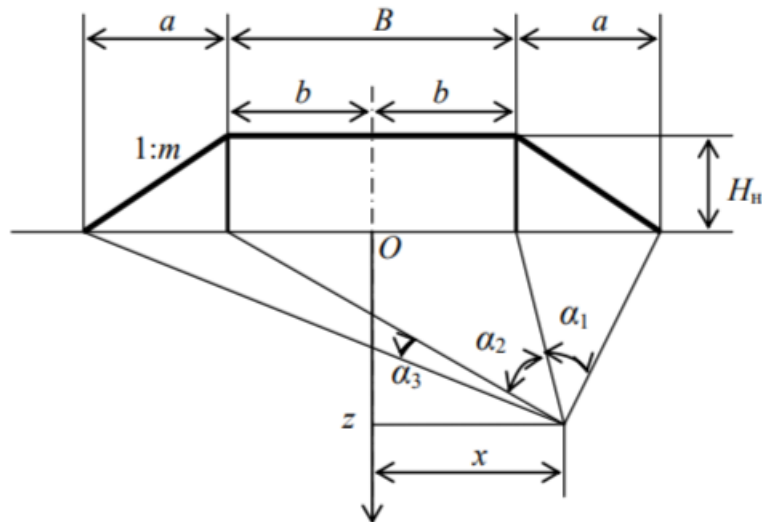
$$\sigma_{nz} = K_a \cdot \sigma_{осн,z}, \quad (1)$$

где σ_{nz} – сжимающее напряжение в грунтовой толще основания дорожной насыпи на глубине z (на рис. 1 кривая 3); $\sigma_{осн,z}$ – напряжения от собственного веса сжимаемого грунтового основания на глубине z (кривая 2);

$$K_a = \begin{cases} 0,2 & \text{— для слабосжимаемых грунтов;} \\ 0,1 & \text{— для сильносжимаемых грунтов.} \end{cases} \quad (2)$$

При определении осадок насыпей автомобильных дорог в практике проектирования наибольшее распространение получил *метод послойного суммирования деформаций сжатия отдельных слоёв в пределах активной зоны* (рис. 2).

Рис.2. Расчётная схема для оценки осадки насыпи



В качестве временной подвижной нагрузки следует принимать нагрузку АК. Она включает в себя равномерно распределенную нагрузку q и одну двухосную тележку с нагрузкой на ось $10K$ (рис. 3).

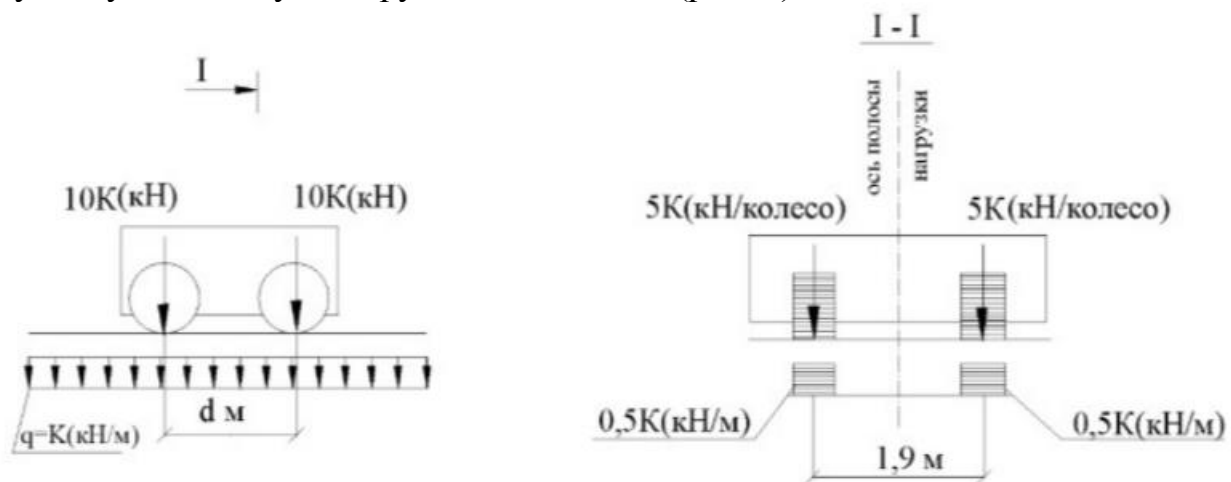


Рис.3. Нормативная нагрузка от автомобилей АК

В расчетах осадки насыпи равномерно распределённую составляющую нагрузки при этом не учитывают. Нагрузку от тележки приводят к эквивалентной равномерно распределённой нагрузке P_{AK} интенсивностью, кПа:

$$P_{AK} = \frac{7,4n}{B_{зп}} K, \quad (3)$$

где n – число полос движения; $B_{зп}$ – ширина земляного полотна, м; K – класс нагрузки АК. Для автомобильных дорог:

- с капитальными дорожными одеждами (обычно это дороги I и II категории) – $K = 11,5$;

- с облегченными и переходного типа дорожными одеждами (обычно это дороги III-V категории) – $K = 10$.

Эквивалентную равномерно распределенную нагрузку P_{AK} следует располагать по всей ширине земляного полотна. Вдоль земляного полотна эквивалентная равномерно распределенная нагрузка располагается на неограниченную длину [2].

Давление на грунт основания от веса грунта насыпи определяется по формуле (4)

$$P_n = \gamma_n \cdot H_n, \quad (4)$$

$$P = P_{AK} + P_n \quad (5)$$

Поле сжимающих напряжений в грунтовой толще основания под дорожной насыпью определяют по формуле теории упругости

$$\sigma_{nz} = \frac{P}{\pi a} (aA_1 + bA_2 + xA_3), \quad (6)$$

где a – горизонтальная проекция откоса насыпи;

$$a = H_n \cdot m \quad (7)$$

$$b = B/2 \quad (8)$$

x – расстояние от оси дороги до заданной вертикали;

$$A_1 = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = \arctg \frac{a+b+x}{z} + \arctg \frac{a+b-x}{z};$$

$$A_2 = \alpha_1 + \alpha_3 = A_1 - \left(\arctg \frac{b+x}{z} - \arctg \frac{x-b}{z} \right); \quad (9-10)$$

$$A_3 = \alpha_1 - \alpha_3 = A_2 - 2 \left(\arctg \frac{a+b-x}{z} + \arctg \frac{x-b}{z} \right) \quad (11)$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – углы между лучами, проведёнными из точки грунтового массива, для которой отыскивают величину сжимающего напряжения; z – ордината. Напряжения от собственного веса сжимаемого грунтового основания для каждой вертикали поперечного профиля:

$$\sigma_{осн,z} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l \gamma_i \Delta h_{ij}, \quad (12)$$

где k – число геологических слоёв в пределах активной зоны; l – число элементарных полосок, на которые делится каждый геологический слой; γ_i – объёмный вес грунта i -го геологического слоя; Δh_{ij} – толщина j -го элементарного слоя i -го геологического слоя.

Границу активной зоны определяют глубиной, на которой

$$\sigma_{nz} = 0,2\sigma_{осн,z}. \quad (13)$$

4.2. Определение величины осадки насыпи

Суммарная осадка основания на заданной вертикали

$$S = \sum_{i=1}^k \Delta S_i, \quad (14)$$

где ΔS_i – осадка i -го слоя грунта, определяемая по формуле

$$\Delta S_i = \sum_{j=1}^l \Delta h_{ij} \varepsilon_{ij}, \quad (15)$$

где Δh_{ij} – толщина j -й полоски i -го геологического слоя на заданной вертикали поперечного сечения дороги; ε_{ij} – безразмерный коэффициент, характеризующий сжимаемость грунта в пределах j -й полоски i -го геологического слоя.

Коэффициент ε_{ij} вычисляют по формуле

$$\varepsilon_{ij} = \left(\frac{e_{ij}^{\text{быт}} - e_{ij}^{\text{полн}}}{1 + e_{ij}^{\text{быт}}} \right) \quad (16)$$

где $e_{ij}^{\text{быт}}$ – значение пористости при бытовом давлении, осреднённом в пределах j -й полоски i -го геологического слоя; $e_{ij}^{\text{полн}}$ – значение пористости при полном давлении, осреднённом в пределах j -й полоски i -го геологического

$$\Delta S_i = \sum_{j=1}^l \Delta h_{ij} \left(\frac{e_{ij}^{\text{быт}} - e_{ij}^{\text{полн}}}{1 + e_{ij}^{\text{быт}}} \right). \quad (17)$$

слоя. Тогда

Одной из наиболее трудных задач при определении осадки основания насыпей, состоящего из нескольких слоёв грунта с различными физико-механическими свойствами, является моделирование кривых компрессионных зависимостей, получаемых в результате лабораторных испытаний образцов грунта с последующей статистической обработкой результатов измерений [3].

Компрессия – это сжатие грунта без возможного бокового расширения. Она имеет место в следующих случаях:

- уплотнение слоя грунта при сплошной равномерно распределенной нагрузке (плотина, насыпь и т.д.);
- уплотнение слоя грунта толщиной $h \leq 0,5b$ под центром под центром тяжести подошвы фундамента.

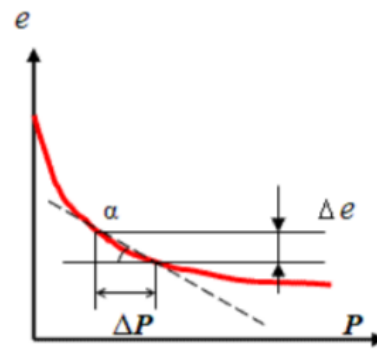
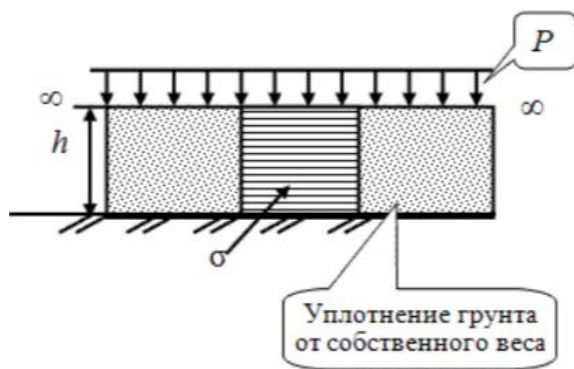
Схема, рассматриваемая в первом случае, приведена на рис.4 слева, компрессионная кривая – справа.

На небольшом участке рассмотрим приращение нагрузки ΔP и получим соответственно Δe . Заменим дугу прямой и тогда упрощенная формула для определения пористости

$$e = e_0 - \beta P, \quad (18)$$

где β – коэффициент сжимаемости, МПа^{-1} , определяемый, как

$$\beta = \frac{\Delta e}{\Delta P}, \quad (19)$$



а) уплотнение слоя грунта при сплошной равномерно распределенной нагрузке (плотина, насыпь и т.д.);

б) компрессионная кривая

Рис. 4. Схема уплотнения грунта при равномерно распределённой нагрузке

В соответствии с формулой (18)

$$e_{ij}^{\text{быт}} = e_0 - \beta \cdot \sigma_{\text{осн},z},$$

$$e_{ij}^{\text{полн}} = e_0 - \beta \cdot (\sigma_{\text{осн},z} + \sigma_{nz}). \quad (20-21)$$

Расчеты осадки ведут по нескольким вертикалям.

Приложение к теме

Отладочный пример

Категория дороги – 3; количество полос движения – 2; класс нагрузки К – 10.
Высота насыпи – 8,95 м. Удельный вес грунта насыпи – $\gamma_n = 26,7 \text{ кН/м}^3$.

Основание имеет вид:

1 Песок средней крупности, средней плотности: $e_0 = 0,67$; $\gamma = 26,6 \text{ кН/м}^3$; $H = -6 \text{ м}$; коэффициент сжимаемости $\beta = 0,00006 \text{ кПа}^{-1}$.

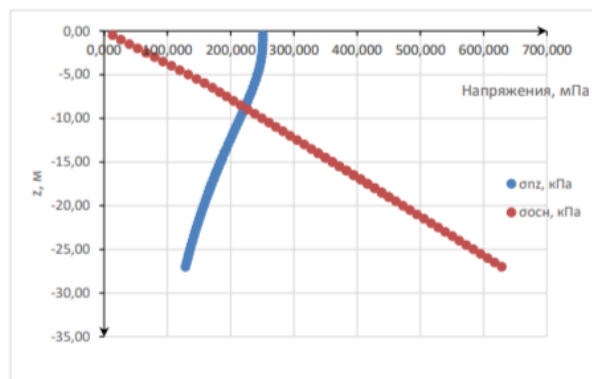
2 Песок пылеватый, средней плотности: $e_0 = 0,76$; $\gamma = 25,1 \text{ кН/м}^3$; $H = -7 \text{ м}$; $\beta = 0,00007 \text{ кПа}^{-1}$.

3 Суглинок влажный $e_0 = 0,63$; $\gamma = 22,3 \text{ кН/м}^3$; $\beta = 0,00007 \text{ кПа}^{-1}$.

Толщина элементарного слоя 0,5 м.

Исходные данные

Элемент модели	Параметр	Обозн.	Значение	z, м	
Дорога	Категория дороги		3		
	Класс нагрузки АК	K	10		
	Число полос движения	n	2		
Расчётные параметры	Расчётная горизонталь, м	x	0,00		
	Шаг расчёта по ветиали, м	dz	0,50		
	Коэффициент для границы активной зоны	K_a	0,2		
Земляное полотно	Ширина земляного полотна, м	B	12		
	Высота насыпи, м	$H_{\text{н}}$	8,95		
	Заложение откоса	m	1,5		
	Грунт земляного полотна				
	Вес грунта насыпи, кН/м³	$\gamma_{\text{н}}$	26,7		
Основание	Слой		Слой 1	Слой 2	Слой 3
	Грунт		Песок с.з.	Песок пыл.	Суглин. ок
	Вес грунта , кН/м³	γ_i	26,6	25,1	22,3
	Отметка подошвы слоя, м	z_i	6	7	200
	Начальный коэф. пористости	e_0	0,67	0,76	0,63
	Коэф сжимаемости, 1/кПа	β	0,00006	7E-05	7E-05



Расчёт

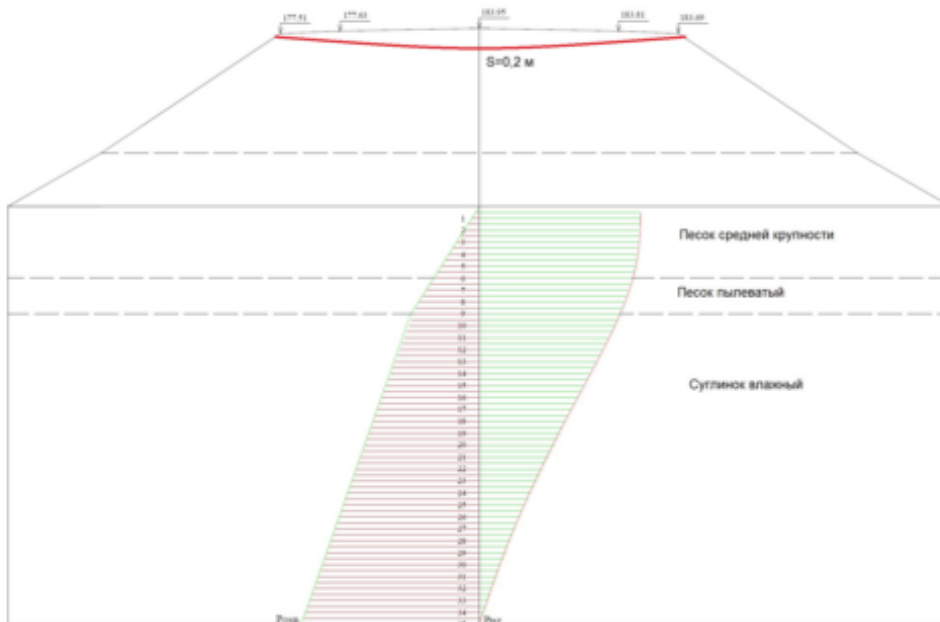
Проекция откоса, м	a	13,43
Половина ширины земляного полотна, м	b	6,00
Давление от транспорта, кПа	P_{AK}	12,33
Давление от насыпи, кПа	P_n	238,97
Давление суммарное, кПа	P	251,30

Для графика z	z , м	$\sigma_{осн}$, кПа	A_1	A_2	A_3	$\sigma_{лз}$, кПа	$K \cdot \sigma_{осн}$, кПа	Условие	$e_{быт}$	$e_{полн}$	ds , м
-0,50	0,50	13,300	3,0901	0,1148	0,0000	251,286	2,660	дальше	0,6692	0,6541	4,5163E-03
-1,00	1,00	26,600	3,0387	0,2274	0,0000	251,200	5,320	дальше	0,6684	0,6533	4,5169E-03
-1,50	1,50	39,900	2,9875	0,3358	0,0000	250,975	7,980	дальше	0,6676	0,6525	4,5150E-03
-2,00	2,00	53,200	2,9364	0,4383	0,0000	250,554	10,640	дальше	0,6668	0,6518	4,5096E-03
-2,50	2,50	66,500	2,8856	0,5336	0,0000	249,897	13,300	дальше	0,6660	0,6510	4,4999E-03
-3,00	3,00	79,800	2,8351	0,6208	0,0000	248,979	15,960	дальше	0,6652	0,6503	4,4855E-03
-3,50	3,50	93,100	2,7851	0,6996	0,0000	247,790	18,620	дальше	0,6644	0,6495	4,4663E-03
-4,00	4,00	106,400	2,7354	0,7698	0,0000	246,331	21,280	дальше	0,6636	0,6488	4,4421E-03
-4,50	4,50	119,700	2,6863	0,8317	0,0000	244,613	23,940	дальше	0,6628	0,6481	4,4132E-03
-5,00	5,00	133,000	2,6377	0,8856	0,0000	242,655	26,600	дальше	0,6620	0,6475	4,3800E-03
-5,50	5,50	146,300	2,5898	0,9321	0,0000	240,478	29,260	дальше	0,6612	0,6468	4,3428E-03

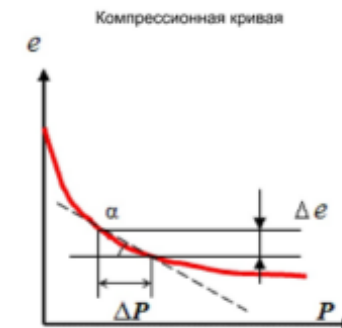
-6,00	6,00	158,850	2,5424	0,9716	0,0000	238,106	31,770	дальше	0,7489	0,7322	4,7652E-03
-6,50	6,50	171,400	2,4958	1,0049	0,0000	235,566	34,280	дальше	0,7480	0,7315	4,7167E-03
-7,00	7,00	182,550	2,4498	1,0326	0,0000	232,880	36,510	дальше	0,6172	0,6009	5,0400E-03
-7,50	7,50	193,700	2,4047	1,0552	0,0000	230,073	38,740	дальше	0,6164	0,6003	4,9817E-03
-8,00	8,00	204,850	2,3602	1,0732	0,0000	227,167	40,970	дальше	0,6157	0,5998	4,9211E-03
-8,50	8,50	216,000	2,3166	1,0873	0,0000	224,181	43,200	дальше	0,6149	0,5992	4,8588E-03
-9,00	9,00	227,150	2,2738	1,0978	0,0000	221,134	45,430	дальше	0,6141	0,5986	4,7950E-03
-9,50	9,50	238,300	2,2319	1,1052	0,0000	218,042	47,660	дальше	0,6133	0,5981	4,7303E-03
-10,00	10,00	249,450	2,1908	1,1099	0,0000	214,920	49,890	дальше	0,6125	0,5975	4,6648E-03
-10,50	10,50	260,600	2,1505	1,1122	0,0000	211,780	52,120	дальше	0,6118	0,5969	4,5989E-03
-11,00	11,00	271,750	2,1111	1,1124	0,0000	208,635	54,350	дальше	0,6110	0,5964	4,5328E-03
-11,50	11,50	282,900	2,0725	1,1108	0,0000	205,493	56,580	дальше	0,6102	0,5958	4,4667E-03
-12,00	12,00	294,050	2,0348	1,1075	0,0000	202,363	58,810	дальше	0,6094	0,5953	4,4008E-03
-12,50	12,50	305,200	1,9980	1,1030	0,0000	199,253	61,040	дальше	0,6086	0,5947	4,3353E-03
-13,00	13,00	316,350	1,9620	1,0972	0,0000	196,169	63,270	дальше	0,6079	0,5941	4,2702E-03
-13,50	13,50	327,500	1,9269	1,0904	0,0000	193,117	65,500	дальше	0,6071	0,5936	4,2058E-03
-14,00	14,00	338,650	1,8926	1,0828	0,0000	190,101	67,730	дальше	0,6063	0,5930	4,1422E-03
-14,50	14,50	349,800	1,8591	1,0744	0,0000	187,125	69,960	дальше	0,6055	0,5924	4,0793E-03
-15,00	15,00	360,950	1,8265	1,0655	0,0000	184,191	72,190	дальше	0,6047	0,5918	4,0173E-03
-15,50	15,50	372,100	1,7946	1,0560	0,0000	181,304	74,420	дальше	0,6040	0,5913	3,9562E-03
-16,00	16,00	383,250	1,7636	1,0460	0,0000	178,464	76,650	дальше	0,6032	0,5907	3,8962E-03
-16,50	16,50	394,400	1,7333	1,0357	0,0000	175,674	78,880	дальше	0,6024	0,5901	3,8371E-03
-17,00	17,00	405,550	1,7038	1,0252	0,0000	172,934	81,110	дальше	0,6016	0,5895	3,7791E-03
-17,50	17,50	416,700	1,6750	1,0144	0,0000	170,246	83,340	дальше	0,6008	0,5889	3,7222E-03
-18,00	18,00	427,850	1,6469	1,0034	0,0000	167,610	85,570	дальше	0,6001	0,5883	3,6663E-03
-18,50	18,50	439,000	1,6196	0,9923	0,0000	165,026	87,800	дальше	0,5993	0,5877	3,6116E-03
-19,00	19,00	450,150	1,5929	0,9812	0,0000	162,495	90,030	дальше	0,5985	0,5871	3,5579E-03
-19,50	19,50	461,300	1,5669	0,9699	0,0000	160,016	92,260	дальше	0,5977	0,5865	3,5054E-03
-20,00	20,00	472,450	1,5416	0,9587	0,0000	157,590	94,490	дальше	0,5969	0,5859	3,4539E-03
-20,50	20,50	483,600	1,5170	0,9475	0,0000	155,216	96,720	дальше	0,5961	0,5853	3,4035E-03
-21,00	21,00	494,750	1,4929	0,9363	0,0000	152,893	98,950	дальше	0,5954	0,5847	3,3542E-03
-21,50	21,50	505,900	1,4695	0,9252	0,0000	150,620	101,180	дальше	0,5946	0,5840	3,3060E-03
-22,00	22,00	517,050	1,4468	0,9141	0,0000	148,398	103,410	дальше	0,5938	0,5834	3,2588E-03
-22,50	22,50	528,200	1,4244	0,9032	0,0000	146,224	105,640	дальше	0,5930	0,5828	3,2127E-03
-23,00	23,00	539,350	1,4027	0,8923	0,0000	144,100	107,870	дальше	0,5922	0,5822	3,1675E-03
-23,50	23,50	550,500	1,3815	0,8815	0,0000	142,022	110,100	дальше	0,5915	0,5815	3,1234E-03
-24,00	24,00	561,650	1,3609	0,8709	0,0000	139,991	112,330	дальше	0,5907	0,5809	3,0802E-03
-24,50	24,50	572,800	1,3407	0,8604	0,0000	138,006	114,560	дальше	0,5899	0,5802	3,0381E-03
-25,00	25,00	583,950	1,3211	0,8500	0,0000	136,066	116,790	дальше	0,5891	0,5796	2,9968E-03
-25,50	25,50	595,100	1,3020	0,8398	0,0000	134,169	119,020	дальше	0,5883	0,5790	2,9565E-03
-26,00	26,00	606,250	1,2833	0,8297	0,0000	132,315	121,250	дальше	0,5876	0,5783	2,9171E-03
-26,50	26,50	617,400	1,2651	0,8198	0,0000	130,502	123,480	дальше	0,5868	0,5776	2,8785E-03
-27,00	27,00	628,550	1,2473	0,8100	0,0000	128,730	125,710	дальше	0,5860	0,5770	2,8408E-03

Глубина активной зоны 27 м

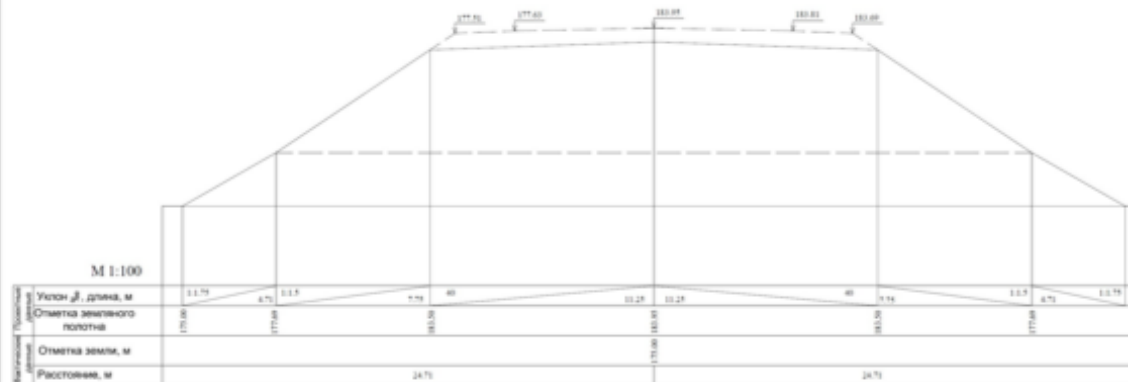
Сумма, 12,5840E-01



Ширина земельного полотна, м	20		
Hн, м	8,95		
Удельный вес грунта насыпи, кН/м³	26,7		
Удельный вес грунтов основания, кН/м³	26,6	25,1	22,3
Глубина заложения подошвы слоя, м	6	7	100
E ₀ грунта основания	0,67	0,76	0,63
Коэффициент сжимаемости	0,00006	0,00007	0,00007



Тип 3 насыль от 6 до 12 метров



М 1:100

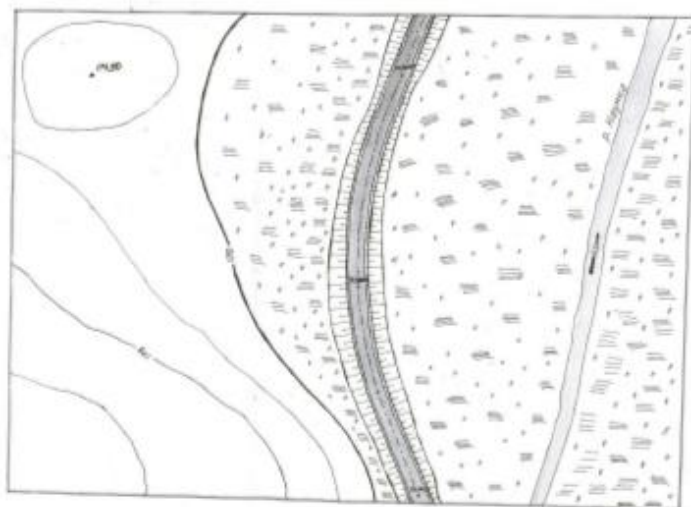
Уклон β , длина, м	1:1,75	4,75	1:1,5	7,75	40	1:1,25	12,25	40	1:1,14	13,5	4,75	1:1,75
Отметка земельного полотна	177,05	177,04	177,03	177,02	177,01	177,00	176,99	176,98	176,97	176,96	176,95	176,94
Отметка земли, м	177,05	177,04	177,03	177,02	177,01	177,00	176,99	176,98	176,97	176,96	176,95	176,94
Расстояние, м	24,75				24,75				24,75			

ГК 63-00

Соборный фельдшерский университет			
Инженерно-строительный институт			
Учебный	Инженер	Старший	Лектор
Учитель			
М. преподаватель	Департамент	Одобрено	назначено
Департамент			

Лист 1

Фрагмент болота



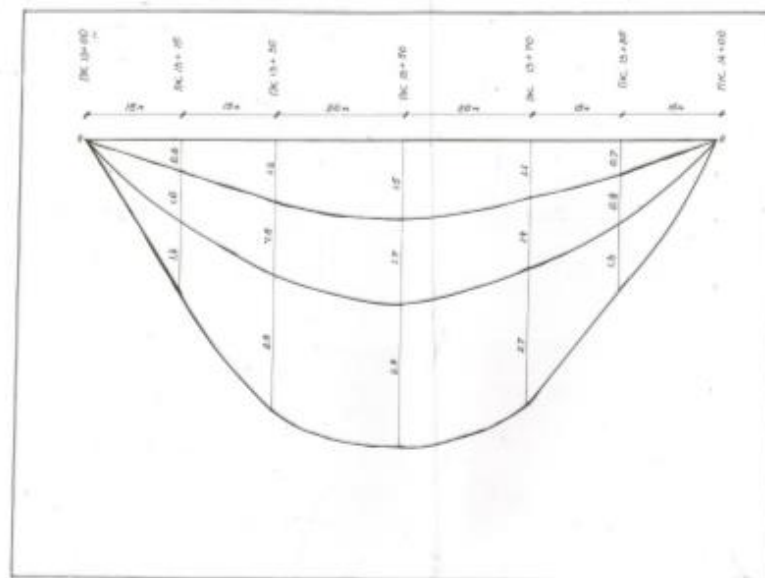
Масштаб 1:1000

Расчет свай

Уровень грунта (см)	H, м	P, м	L, м	E, м	ЭнР	E _с	E _п	E _с -E _п	$\frac{E_s - E_p}{E_s + 1}$	α, %	S, м
0-10	1,8	14,8	0	0	1,83	0	0	0	0	0	0
10-15	1,8	14,8	5,0	1,8	3,65	2,82	4,3	2,18	0,9	1,6	1,2
15-20	1,8	14,8	10,0	3,6	5,5	4,64	6,9	1,18	0,24	0,5	0,5
20-30	1,8	14,8	15,0	5,4	7,40	6,82	9,3	2,48	0,32	0,8	0,8
30-40	1,8	14,8	20,0	7,2	9,25	8,98	11,7	2,42	0,25	0,6	0,6
40-50	1,8	14,8	25,0	9,0	11,10	11,10	14,1	3,00	0,27	0,7	0,7
50-60	1,8	14,8	30,0	10,8	12,95	12,95	16,9	3,94	0,30	0,8	0,8
60-70	1,8	14,8	35,0	12,6	14,80	14,80	19,7	4,90	0,33	0,9	0,9
70-80	1,8	14,8	40,0	14,4	16,65	16,65	22,5	5,84	0,35	1,0	1,0
80-90	1,8	14,8	45,0	16,2	18,50	18,50	25,3	6,80	0,37	1,1	1,1
90-100	1,8	14,8	50,0	18,0	20,35	20,35	28,1	7,74	0,38	1,2	1,2
100-110	1,8	14,8	55,0	19,8	22,20	22,20	30,9	8,68	0,39	1,3	1,3
110-120	1,8	14,8	60,0	21,6	24,05	24,05	33,7	9,62	0,40	1,4	1,4
120-130	1,8	14,8	65,0	23,4	25,90	25,90	36,5	10,56	0,41	1,5	1,5
130-140	1,8	14,8	70,0	25,2	27,75	27,75	39,3	11,50	0,42	1,6	1,6
140-150	1,8	14,8	75,0	27,0	29,60	29,60	42,1	12,44	0,43	1,7	1,7
150-160	1,8	14,8	80,0	28,8	31,45	31,45	44,9	13,38	0,44	1,8	1,8
160-170	1,8	14,8	85,0	30,6	33,30	33,30	47,7	14,32	0,45	1,9	1,9
170-180	1,8	14,8	90,0	32,4	35,15	35,15	50,5	15,26	0,46	2,0	2,0
180-190	1,8	14,8	95,0	34,2	37,00	37,00	53,3	16,20	0,47	2,1	2,1
190-200	1,8	14,8	100,0	36,0	38,85	38,85	56,1	17,14	0,48	2,2	2,2

$$\begin{aligned}
 R &= R_1 + R_2 + R_3 \\
 R_1 &= \gamma_s \cdot K \\
 \gamma_s &= \frac{R_s}{F} \\
 R_2 &= \frac{R_s \cdot H}{L} \\
 R_3 &= \gamma_s \cdot H \\
 S &= H \cdot \frac{E_s - E_p}{E_s + 1} \\
 E_p &= E_s - \gamma_s \cdot E_s \cdot R \\
 \text{Вид грунта: } &\text{осажденно-песчаный} \\
 \gamma_s &= 12 \\
 E_s &= 4,5 \\
 S &= S_1 + S_2 + S_3 \\
 S_{\text{расч}} &= 240 \text{ см}
 \end{aligned}$$

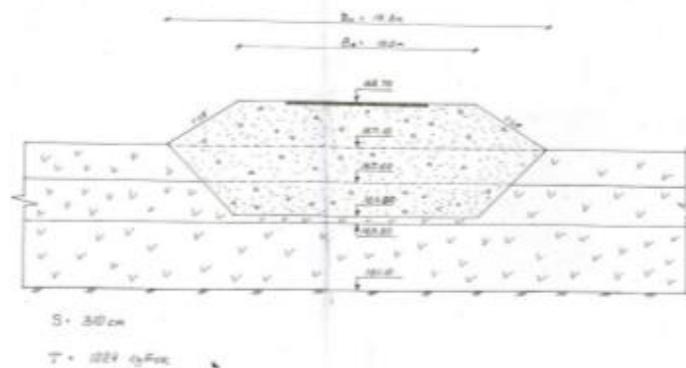
Поперечное сечение болота



N° слоя	Коэф-т пористости	Коэф-т фильтрации	Удельн вес торфа	Степень разложения
1	0	0,068 см/сек	0,8 т/м³	45 %
2	6,3	0,065 см/сек	1,02 т/м³	55 %
3	4,3	0,080 см/сек	1,5 т/м³	80 %

Срок консолидации - 3,5 месяцев

Величина осадки ПК 13-50



Реконструированный документ № 0-52

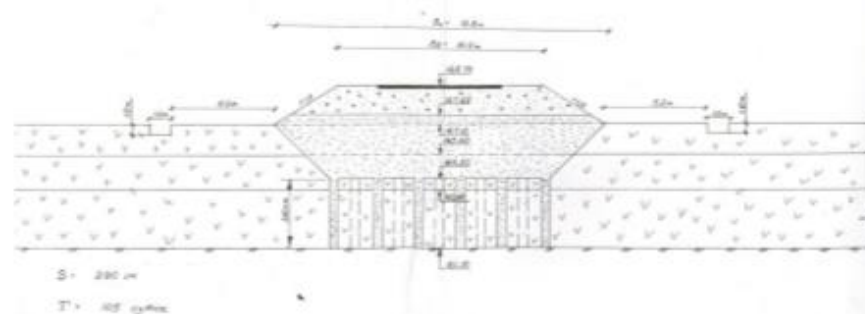
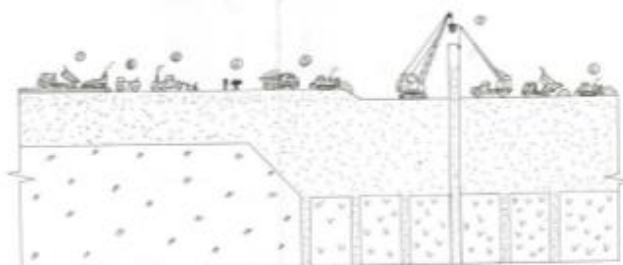
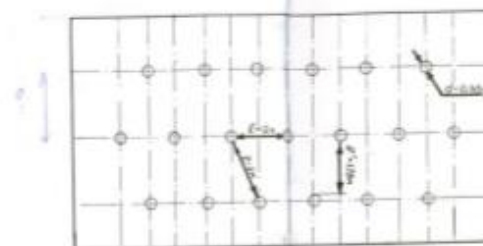


Схема устройства зернового потока
с вертикальным фрезом



Расположение дрен в плане



1. ՀԱՅԿԱՆԱԾ ԲԱՆԻՄԱՆԱԿԱՆ ԵՎ ՄԱՐԿԱՆԱԾ
2. ԲԱՆԻՄԱՆԱԿԱՆ ԴՐՈՒՄ ԵՎ ԲԱՆԻՄԱՆԱԿԱՆ ԴՐՈՒՄԻ
3. ԲԱՆԻՄԱՆԱԿԱՆ ԴՐՈՒՄԻ ԲԱՆԻՄԱՆԱԿԱՆ ԵՎ ԴՐՈՒՄԻ ԲԱՆԻՄԱՆԱԿԱՆ
4. ԴՐՈՒՄԻ ԲԱՆԻՄԱՆԱԿԱՆ ԴՐՈՒՄԻ ԲԱՆԻՄԱՆԱԿԱՆ
5. ԴՐՈՒՄԻ ԲԱՆԻՄԱՆԱԿԱՆ ԴՐՈՒՄԻ ԲԱՆԻՄԱՆԱԿԱՆ
6. ԴՐՈՒՄԻ ԲԱՆԻՄԱՆԱԿԱՆ ԴՐՈՒՄԻ ԲԱՆԻՄԱՆԱԿԱՆ
7. ԴՐՈՒՄԻ ԲԱՆԻՄԱՆԱԿԱՆ ԴՐՈՒՄԻ ԲԱՆԻՄԱՆԱԿԱՆ

Источники информации

1 Федотов, Г.А. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог / Г.А. Федотов. – М.: Транспорт, 1986. 317 с.

2 ГОСТ Р 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения. – М.: Стандартинформ, 2016. – 6 с.

3 Алексеев, С.И. Механика грунтов: учебное пособие для студентов вузов /С.И. Алексеев. – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2007. 111с.

Список литературы:

1. Жуков, В.И. Проектирование автомобильных дорог. Основы [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.И. Жуков В.И., Т.В. Гавриленко. – Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2014. – 144 с.
2. Федотов, Г.А. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн.1: учебник / Г.А. Федотов, П.И. Пospelов. – М.: Высш. шк., 2009. – 646 с.
3. Автомобильные дороги (примеры проектирования) / под ред. В.С. Прожнякова. – М. : Транспорт, 1983. – 303 с.
4. Проектирование участка автомобильной дороги : метод. указ. / сост. : К.А. Андрианов, А.Г. Воронков. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2007. – 32 с.
5. Автомобильные дороги и аэродромы правила и порядок оформления дипломных (курсовых) проектов и работ : метод. указания / К.А. Андрианов, А.Ф. Зубков. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 28 с.
6. Проектирование малых водопропускных сооружений на автомобильных дорогах / Ю.А. Фортуна, В.М. Телятников, Т.И. Овчаренко, В.В. Корневский. – Краснодар: 2000. – 27 с.
7. Шевяков, А.П. Оценка транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных магистралей : метод. указ. к курсовому и дипломному проектированию. – М.: МАДИ (ТУ), 1999. – 15 с.
8. Митин, Н.А. Таблицы для подсчёта объёмов земляного полотна автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1977. – 544 с. Нормативная литература
9. СП 131.13330.2012. Актуализированная версия СНиП 2.01.01–82. Строительная климатология и геофизика.
10. СНиП 23-01–99. Строительная климатология. – М.: ФГУП ЦПП, 2000.
11. ГОСТ Р 52398–2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования. – М. : Стандартиформ, 2006.
12. ГОСТ Р 52399–2005. Геометрические элементы автомобильных дорог. – М.: Стандартиформ, 2006.
13. СНиП 2.05.02–85*. Автомобильные дороги. – М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 54 с.
14. ГОСТ Р 21.1701–97. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог. – М. : Госстрой России, 1997.
15. ГОСТ 21.1207–97. Система проектной документации для строительства. Условные графические обозначения на чертежах автомобильных дорог. – М. : Госстрой России, 1997.
16. ВСН 18–84. Указания по архитектурно-ландшафтному проектированию автомобильных дорог. – М., 1986.
17. Земляное полотно автомобильных дорог общего пользования. Типовые материалы для проектирования. Серия 503-0–48.87. – М.: Союздорпроект, 1987.

18. Дорожные одежды автомобильных дорог общего пользования. Материалы для проектирования. Серия 3.503-71/88.0. – М.: Союздорпроект, 1988.

19. Серия 3.501.1-144. Трубы водопропускные круглые железобетонные сборные для железных и автомобильных дорог.

20. Серия 3.501.1-177.93. Трубы водопропускные железобетонные прямоугольные сборные для железных и автомобильных дорог.

21. ОДМ. Методические указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах, 2002.

22. О нормах отвода земель для размещения автомобильных дорог и (или) объектов дорожного сервиса [Электронный ресурс]: Постановление правительства РФ от 2 сентября 2009 г. № 717. Доступ из справ.- правовой сист. «КонсультантПлюс».

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Титульный лист

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)»**
ПРИВОЛЖСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) МАДИ

Кафедра **Строительство дорог и инженерной экологии**

Дисциплина **Проектирование автомобильных дорог в сложных условиях**

КУРСОВАЯ РАБОТА

тема: **Проектирование автомобильных дорог в сложных условиях**

Выполнил студент:
факультета _____
_____ курса, группы _____

Ф.И.О.

Руководитель

оценка _____

«_____» _____ 2026

Чебоксары, 2026

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Бланк задания

дисциплина: *Проектирование автомобильных дорог в сложных условиях*

Задание

на курсовую работу

тема: «Проектирование автомобильных дорог в сложных условиях»

Студенту _____

(Ф.И.О., группа)

1. Исходные данные для выполнения проекта:

1. Топографическая карта местности в масштабе 1 : 10000 (1:25000).
2. Дорога проектируется между: _____
3. Данные о составе и интенсивности движения: _____
4. Интенсивность движения, полученная по результатам титульных дорожно-экономических обследований с учётом изменений состава движения _____
5. Прирост интенсивности _____
6. Район проложения трассы _____
7. Грунтовые условия:
 Супеси на глубине _____, Суглинки на глубине _____
 Глины на глубине _____, Пески на глубине _____
 Растительный слой _____.
8. Уровень грунтовых вод _____
9. Уровень поверхностной воды _____

2. Состав проекта:

а). Пояснительная записка

Введение (актуальное состояние дорожной сети в рассматриваемом регионе, цели, задачи проектирования)

Глава 1. Характеристика района проектирования автомобильной дороги

- 1.1. Общая характеристика района проектирования
- 1.2. Транспортная сеть
- 1.3. Природно-климатическая характеристика
- 1.3.1. Климат
- 1.3.2. Гидрология
- 1.3.3. Рельеф. Геология
- 1.3.4. Почвы и растительность
- 1.3.5. Полезные ископаемые. Дорожно-строительные материалы

1.4. Обоснование технических нормативов (определение интенсивности движения, технической категории дороги и технических нормативов).

Глава 2. План трассы и продольный профиль (выбор направления трассы по топографической карте с соблюдением требований безопасности движения. Описание варианта трассы, закрепление трассы. Определение величины радиусов круговых и переходных кривых и их элементов, составление ведомостей.

Глава 3. Продольный профиль (руководящие отметки, описание продольного профиля).

Глава 4. Земляное полотно (определение типов поперечных профилей, подсчёт объёмов земляных работ).

Глава 5. Линейный график коэффициентов аварийности

Глава 6. Деталь

Заключение

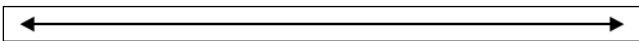
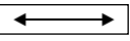
Список используемой литературы

б). Графическая часть (приветствуется выполнение чертежей с использованием программных комплексов)

1. График коэффициентов аварийности (A_1).
2. Продольный профиль в масштабе: горизонтальный 1 : 5000, вертикальный 1 : 500, для грунтов 1 : 50.
3. Поперечные профили земляного полотна (формат A_4 (A_1)).
4. Деталь

Преподаватель _____ / _____ / Студент _____ / _____ /

образец углового штампа
на листах
пояснительной записки

		
120		15
ПАД в СУ. КР-2026		Лист
		№ п/п

5

10

Образец углового штампа на 1-м листе содержания пояснительной записки

Должность	Ф.И.О.	Подпись	Дата				
Зав. каф				ПАД в СУ. КР-2026			
Н.Контроль							
Консультант				Проектирование автомобильных дорог в сложных условиях	Стадия	Лист	Листов
Консультант					у		
Разработал				Пояснительная записка	Приволжский институт (филиал) МАДИ Направление 08.03.01 Группа-_____		
Проверил							
Утвердил							

образец углового штампа на листах
графической части КП

	65				120							
	Должность	Ф.И.О.	Подпись	Дата	ПАД в СУ. КР-2026				15			
				5								
				5								
55	Зав. кафедрой			5	Автомобильная дорога А- Б				10			
	Н.контроль			5								
	Консультант			5	Проектирование автомобильных дорог в сложных условиях	Стад	Лис	Листо	5			
	Консультант			5		У	↔	↔	10			
	Руководител			5		15	17	18				
	Разработал			5	Название листа и его содержание	Приволжский институт (филиал) МАДИ Направление 08.03.01 группа			15			
	Выдал			5								
	Утвердил			5								
	17		23		15		10		70		50	

