МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО - СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по курсу«Автомобильные дороги и технология их строительства»
для студентов по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»
профиль «Автодорожные мосты и тоннели»

Казань
2015

УДК 625.72
ББК 38.2
З7

З7. Методические указания к практическим занятиямпо курсу «Автомобильные дороги и технология их строительства» / Сост. Т.А. Зиннуров, Майстренко И.Ю. Казань: КГАСУ, 2015.- 30 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Методические указания предназначены для проведения практических занятий по курсу«Автомобильные дороги и технология их строительства».Практические занятия включают в себя: оценка природных условийрайона строительства, построение плана трассы, расчёт дорожной одежды. Методические указания предназначены для использования в учебном процессе для студентовпо направлению подготовки 08.03.01«Строительство» профиль «Автодорожные мосты и тоннели».

Рецензент
доценткафедры «Автомобильных дорог», к.т.н. Логинова О.А.

УДК 625.72
ББК 38.2

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2015
© Зиннуров Т.А.,Майстренко И.Ю., 2015

Содержание

Введение		3 стр.
1.	Характеристика природных условий района проектирования	4 стр.
2.	Обоснование технических нормативов дороги	8 стр.
3.	План трассы	11 стр.
4.	Поперечный профиль дороги	22 стр.
5.	Расчёт дорожной одежды	25 стр.
Список литературы		30 стр.

Введение

Автомобильная дорога, запроектированная согласно нормативному документу СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги», должна обеспечивать безопасность движения, как одиночных автомобилей с расчетными скоростями, так и транспортных потоков с высокими уровнями удобства, надежность и расчётные срокиэксплуатации земляного полотна и дорожной одежды.

При проектировании следует предлагать несколько вариантов трассы, в сравнении которых предпочтение отдают таким инженерным решениям, которые предусматривают наилучшее сочетание элементов дороги с рельефом местности, растительностью и другими существующими сооружениями.

Цельюпрактическихзанятийявляется ознакомление со всеми этапами проектирования автомобильной дороги и состоит из следующих разделов:

- характеристики(климатические, геологические, топографические) района проектирования;
- основные параметры трассы согласно установленной категории дороги;
- план трассы на заданной местности (см. карту);
- поперечный профиль трассы;
- дорожная одежду нежесткого типа.

1. Характеристики природных условий района проектирования

В пояснительной записке к курсовойработеследует привести описание природных условий района, где предположительно прокладываетсятрасса. К природным условиям относятся климат, рельеф местности, растительность, водные бассейны. Данные следует собирать полученные из различных источников, они должны быть содержательными, достоверными и характеризовать указанный в задании регион, а также местность, изображенную на карте.

1.1. Климат

Природные условия района строительства описывается комплексом параметров и показателей. Ведомость климатических показателей имеет структуру, приведенную в таблице 1. Показатели таблицы 1 преимущественно заполняются по данным источника [1], значения принимаются для ближайшего населённого пункта кпроектируемой трассе.

Таблица 1

Показатель		Ед. изм.	Величина
1 Абсолютная температура воздуха	минимальная	°С	
	максимальная	°С	
2 Средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки вероятностью превышения	0,98	°С	
	0,92	°С	
3 Преобладающее направление ветра за	декабрь – февраль		
	июнь – август		
4 Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь		м/с	
5 Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль		м/с	
6 Среднемесячная относительная влажность воздуха наиболее	холодного месяца	%	
	теплого месяца	%	
7 Количество осадков за	ноябрь – март	мм	
	апрель – октябрь	мм	
8 Расчетная толщина снежного покрова обеспеченностью 5%		м	
9 Расчетная глубина промерзания грунтов$Z_{пр}$		см	

Дополнительно к собранным данным, следует определить принадлежность региона строительства к одной из дорожно-климатических зон по карте из свода правил «Автомобильные дороги» [2].Согласно своду правил, Российская федерация делиться на пять зон.

Зона 1– зона распространения многолетнемерзлых грунтов. Включает в себя географические зоны тундры, лесотундры и северо-восточную часть лесной зоны. Характеризуется переувлажнением верхних слоев грунта.

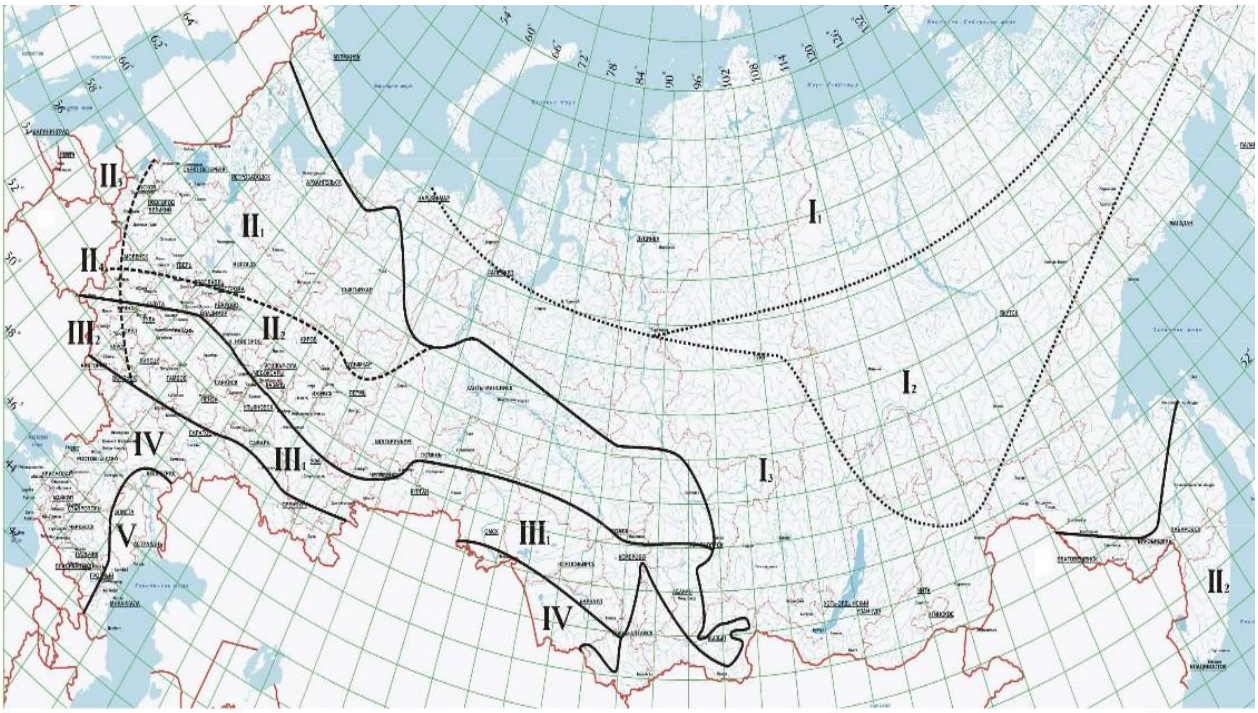
Зона 2– зона избыточного увлажнения вследствие значительного количества выпадающих осадков, малой испаряемости и высокого расположения уровня грунтовых вод. Характеризуется таежными и смешанными лесами и почвами подзолистого типа.

Зона 3– зона значительного увлажнения в отдельные годы. Лесостепь. Значительное увлажнение весной и осенью.

Зона 4– зона недостаточного увлажнения. Территории с черноземами. Характеризуется умеренной влажностью верхних слоев грунта вследствие значительной испаряемости и небольшого количества осадков. Грунтовые воды залегают на большой глубине.

Зона 5– засушливая зона, незначительное увлажнение грунтов в силу сильной испаряемости.

Такое деление на дорожно-климатические зоныпроисходит по критерию содержания влаги в грунтах основания и требуется для расчёта дорожной одежды.



– границы дорожно-климатических зон; – границы дорожно-климатических подзон.

Рис. 1. Дорожно-климатическое районирование

Некоторые параметры, как расчетная толщина снежного покрова обеспеченностью 5% принимается из задания на проектирование. Она необходима для определения руководящей отметки из условия снегонезаносимости дороги. Расчетная глубина промерзания принимается согласно картерисунок 2[3].

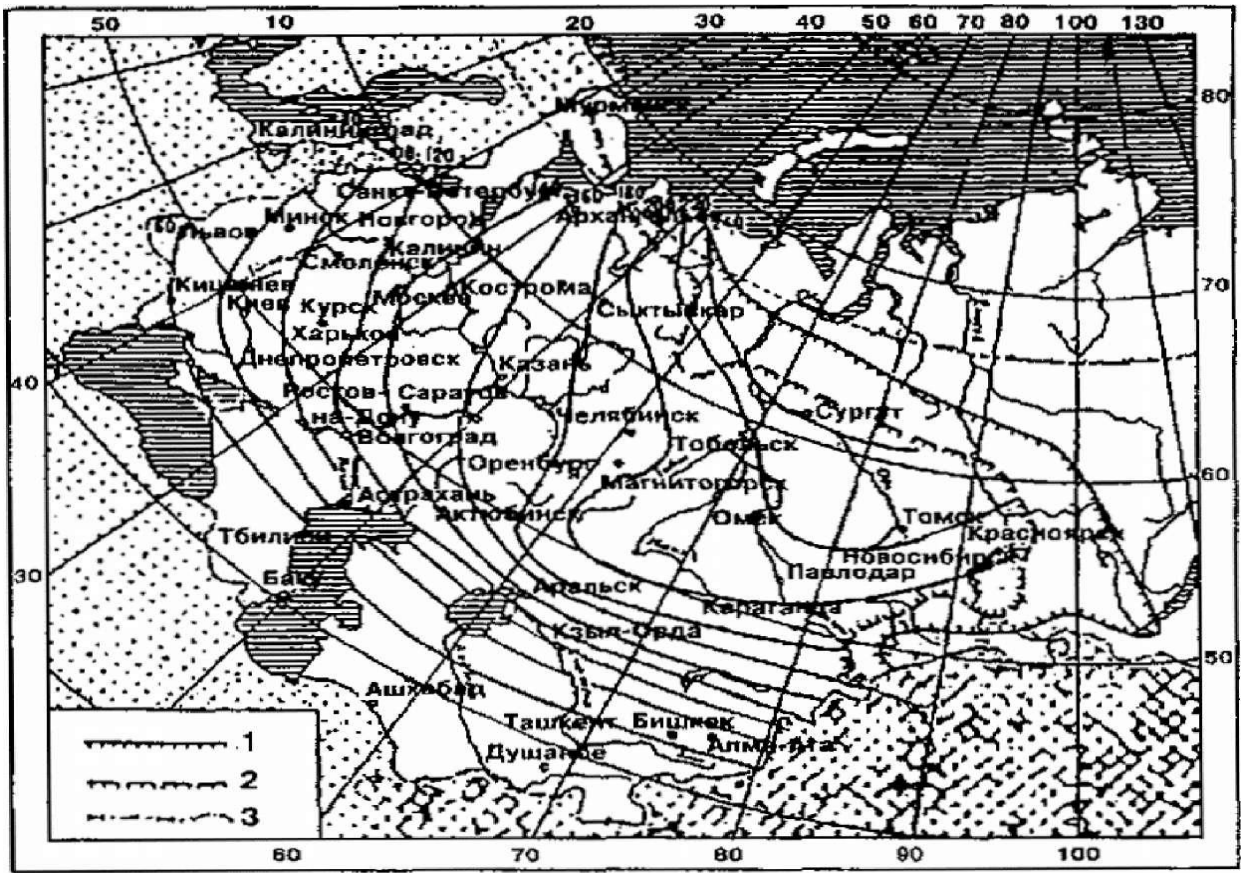


Рис. 2. Карта изолиний глубины промерзания $Z_{пр}$

Выбор направления трассы во многом зависит от силы и направления господствующего ветра, поэтому по данным метеостанций [1] строятся графики “Розы ветров” по интенсивности и средним скоростям (для наиболее холодного месяца – январь и наиболее теплого месяца – июль). Заносим показатели в таблицу 2 и вычерчиваем лепестковую диаграмму в нужном масштабе (Рис. 3).

Таблица 2

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Повторяемость в %								
Скорость ветра, м/с								

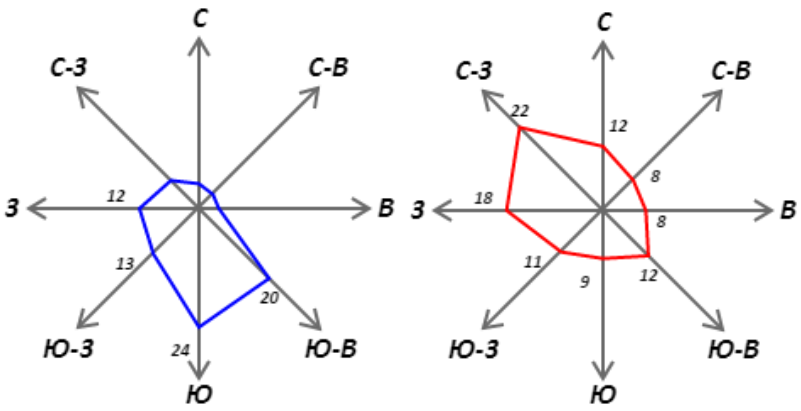


Рис. 3. Графики повторяемости в %,
синий цвет – январь; красный цвет – июль.

Например, диаграмма зимней повторяемостиветров используют при выяснении снегозаносимости дороги. Так, если угол между направлением трассы дороги и направлением максимальной повторяемости ветра более 30°, то дорога будет заносима снегом, и необходимо планировать мероприятия по снегозащите. Диаграмма летней повторяемости ветровиспользуют при выборе места расположения асфальтобетонных заводов, санитарных узлов, а также при обходе населённых пунктов.

В пояснительной записке кроме числовых значений таблицы 1 следует дать краткую характеристику климата. Например:*«Климат района проектирования – резко континентальный. Зима продолжительная, лето умеренно теплое. Осадки - преимущественно летние»…..*

1.2. Рельеф и инженерно-геологические условия

Внимательное ознакомление с местностью позволяет выбрать наиболее целесообразное направление трассы, при котором удается избежать ее удлинения и сэкономить на объемах земляных работ, количестве и размерах искусственных сооружений.

Условия рельефа предлагаемого территории оцениваются по карте местности, а также дополняются информацией для вашего региона из достоверных источников. Масштаб карты 1:10000, то есть в 1 см – 100 м. Шаг горизонталей составляет от 1 до 5 метров.

Показателем крутизны земной поверхности может быть угол наклона между наивысшей и наименьшей точкой. Указывается тип рельефа: равнинный до 1°, слабохолмистый 1° – 4°, холмистый 4° – 7°, горный более 7°. Следует указать имеющиеся на карте наивысшие и наинизшие отметки, речные долины, склоны к рекам, овраги.Необходимо дать общую характеристику геологического строения иоценить её пригодность для возведения земляного полотна, заложения опор и фундаментов искусственных и инженерных сооружений.

1.3. Растительность и почва

На основе изучения карты следует отметить наличие в зоне проектирования лесов, садов, кустарников. Указать виды древесно-кустарниковых пород. Если на карте указаны леса, то следует в соответствии с условными обозначениями описать параметры леса. Виды почв принимаются по заданию на проектирование. Дополнительно приводиться характеристика растительности и почв для всего региона (области, республики и.т.д.).

По итогам анализа и собранного материала делается вывод о целесообразности строительства автомобильной дороги в данном районе.

2. Обоснование технических нормативов дороги

2.1. Определение технической категории дороги

Техническая категория проектируемой дороги устанавливается согласно СП «Автомобильные дороги»[2]. Ее назначают по расчетной интенсивности движения, измеряемой в приведенных к легковому автомобилю единицах в сутки (прив. авт./сут). Приведение потока транспортных средств к потоку, состоящему только из легковых автомобилей, осуществляется с помощью специальных коэффициентов. Для выполнения этой цели заполняется таблица 3,где для каждого транспортного средства определяется приведённая интенсивностьпо формуле$N^p_i = N_i * k$.

Таблица 3

Типы транспортного средства	Грузоподъем-ность, т	Интенсивность движения, авт./сут. (N_i)	Коэффициент приведения (k)	Приведённая интенсивность, прив. авт./сут. (N^p_i)
Легковые автомобили	-		1	
Мотоциклы(с коляской) и мопеды	-		1	
Грузовые автомобили	До 2		1,3	
	2 – 6		1,4	
	6 – 8		1,6	
	8 – 14		1,8	
	Свыше 14		2,0	
Автопоезда	До 12		1,8	
	12 – 20		2,2	
	20 – 30		2,7	
	Свыше 30		3,2	

Автобусы	малые		1,4	
	средние		2,5	
	большие		3,0	
Исходная интенсивность движения,$N_{исх}$				$\sum_{i=1}^{n} N_i$=

Расчетной интенсивностью является перспективная интенсивность движения, при этом перспективный период эксплуатации примем равный 20 годам. За начальный год перспективного периода принимается год завершения проекта. Данные о росте интенсивности получают с помощью экономических изысканий. В районах, где развитие экономики идет опережающими дорожное строительство темпами, расчет перспективной интенсивности движения проводится по степенной зависимости:

$$N_{\text{расч}} = N_{\text{исх}}(1 + p/100)^t$$

где $N_{исх}$– исходная интенсивность движения, привед. авт./сут,p– процент ежегодного прироста интенсивности принимается от 1 до 6 в зависимости от региона, %,t– перспективный период, годы.В зависимости от полученного значения $N_{расч}$ по таблице 4 [2]назначается категория дороги.

Таблица 4

Класс дороги	Категория дороги	Расчетная интенсивность движения, прив. авт./сут
Автомагистраль	IA	Свыше 14000
Скоростная дорога	IБ	
Дорога обычного типа	IB	
	II	Свыше 6000
	III	Свыше 2000 до 6000
	IV	Свыше 200 до 2000
	V	До 200

Основные элементы проектируемой трассы в плане, продольном и поперечном профилях назначаются согласноисточникам [2] и [4]. Поперечные уклоны проезжей части устанавливаютсясогласнопункту 5.31 из[2], поперечные уклоны обочин – согласно пункту5.32из [2], работа с нормативным документомпотребует определиться с покрытием проезжей части и обочины.Размерности элементов поперечного профиля дороги изображаются на чертеже (Рис.4). Все нормированные параметры для принятой категории дороги сводятся в таблицу5.

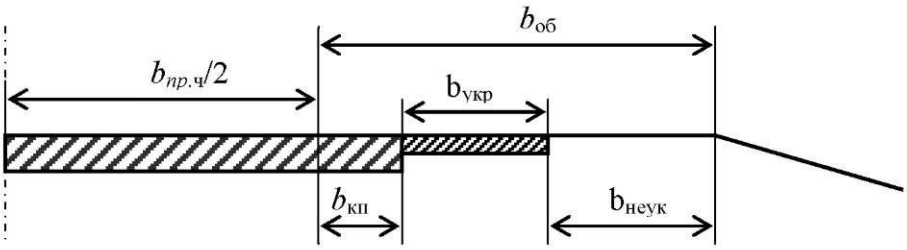


Рис. 4. Основные элементы поперечного профиля для III категории

Рассматривают следующие основные элементы поперечного профиля:

- *проезжая часть* ($b_{прч}$) – основной элемент дороги, предназначенный для непосредственного движения транспортных средств;
- *обочина* ($b_{об}$) – полоса поверхности дороги, используемая для временной стоянки автомобилей;
- *краевая полоса* ($b_{кп}$) – часть обочины, предназначенная для защиты от разрушения кромки проезжей части и допускающая регулярные заезды не неё транспортных средств (имеет дорожную одежду такой же прочности, что и проезжая часть);
- *укрепленная часть обочины* ($b_{укр}$) – часть обочины, имеющая покрытие из каменного материала, обработанного вяжущим;
- *грунтовая часть обочины* ($b_{неукр}$) – часть обочины, не имеющая дорожной одежды.

Таблица 5

Наименование показателя	Единица измерения	Величина показателя	Источник
Категория дороги	-		
Расчетная интенсивность движения	прив. авт./сут		
Расчетная скорость движения	км/ч		
Число полос движения	шт		
Ширина полосы движения	м		
Ширина проезжей части	м		
Ширина обочин	м		
Ширина краевой полосы у обочины	м		
Ширина укрепленной части обочины	м		
Ширина земляного полотна без ограждений	м		
Наименьшие радиусы кривых в плане	м		
Поперечный уклон проезжей части и	%		

краевой полосы в зависимости от дорожно-климатической зоны (при асфальтобетонном покрытии)			
Поперечный уклон обочины за пределами краевой полосы	%		
Расчетные расстояния видимости: для остановки для встречного автомобиля	м		
Наибольший продольный уклон	%		
Наименьшие радиусы выпуклых кривых в продольном профиле	м		
Наименьшие радиусы вогнутых кривых в продольном профиле	м		
Ширина разделительной полосы	м		

3. План трассы

3.1 Основные сведения о трассировании автомобильных дорог

Современная автомобильная дорога должна выполнять требования по прочности, надёжности, долговечности, выносливости, а также обеспечивать удобное, безопасное и экономичное движение автомобильного транспорта. Соблюдение указанных требований достигается применением принципов проектированиятрасс и соблюдением рекомендуемых технических нормативов для данной категории дороги[2].*Трасса* – это пространственная линия оси автомобильной дороги, проложенная на местности. Ее проекция на горизонтальную плоскость называется *планом трассы.*

Первымделом чтобы, приступить к трассированию, необходимо тщательно изучить предлагаемую к заданию топографическую карту (масштаб, топографические знаки, характер рельефа местности, линейные, высотные и контурные препятствия и т.д.). Выбор направления трассы между заданными пунктами определяется категорией дороги, особенностью рельефа местности, гидрологическими и топографическими условиями.По возможности, выполняя различные рекомендации по трассированию, следует стремиться к сокращению длины дороги, то есть к приближению ее к*“воздушной линии”*– прямой, соединяющей заданные пункты (точки).

В работе предусматривается традиционный метод трассирования (полигонального трассирования), то есть когда намечаются точки с нужными направлениями (точки А и Б), которые соединяются прямой вдоль нее просматриваются варианты обхода искусственных и естественных неровностей и препятствий.

Заданием на курсовую работу будет запроектировать не менее трёх вариантов трассы: первую по *“воздушной линии”*, вторую и третью минуя основные препятствий, и произвести технико-экономическое сравнение по указанным пунктам.

3.2. Проектирование плана трассы по “воздушной линии”

Соединяяуказанные точки начала и конца трассы, образуется прямая, которая и называется “воздушной линии”.От начальной точки трассы *“воздушную линию”* разбивают на отрезки, равные одному пикету, и наносят километровые знаки (Рис. 5). *Пикет* – точка разметки расстояния на автомобильных дорогах с шагом в 100 м.Обязательно указывается пикетажное положение начала трассы НТ ПК 0+00 и конца трассы, например КТ ПК 13+60. После знака «+» указывается расстояние в метрах от предыдущего пикета. Параллельно прямому участку трассы указывается его румб с протяженностью в метрах.

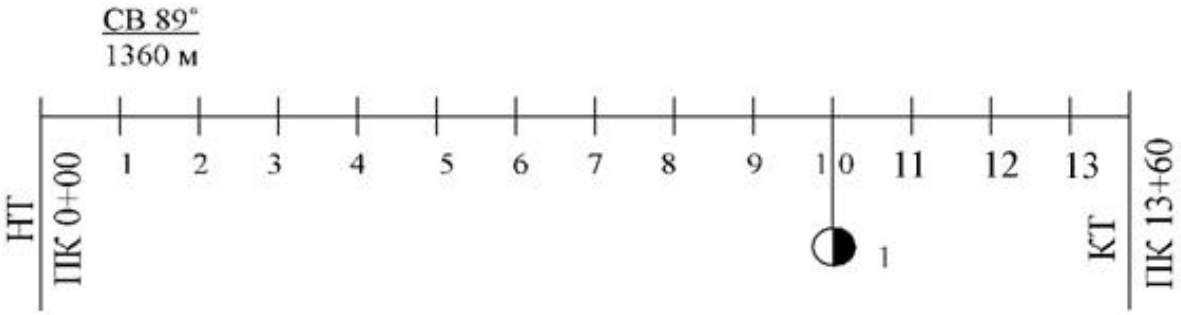


Рис. 5. Пример оформления плана трассы по воздушной линии

В пояснительной записке производиться описание трассы по воздушной линии. Нужно указывать длину трассы, общее направление трассы (румб), плюсовые точки на плане – это пересечения воздушной линии с существующими автомобильными и железными дорогами, водными объектами (реками, ручьями и оврагами), границы прохождения трассы по населенным пунктам, лесу, кустарникам и т.д.В конце описания делается заключение о возможности (или невозможности) трассирования по воздушной линии, указываются основные причины, препятствующие проложению трассы по этому варианту.

Не нужно забывать, что длину прямыхучастков трассы в плане следует ограничивать согласно пункту 5.38 [2].

3.3. Построение тангенциального хода вариантов трассы

Практически провести трассу по воздушной линии не всегда удается из-за различных преград, поэтому трассу приходится отклонять от *“воздушной линии”*и предусматривать несколько вариантов. При этом

должны соблюдаться нормативные требования, основные из которых приведены ниже.

- Речные преграды следует преодолевать перпендикулярно направлению течения воды. Для судоходных рек в соответствии с [5]отклонение от прямого угла допускается не более 10°.
- Тип пересечения с автодорогами зависит от категории пересекаемых дорог. В разных уровнях осуществляется пересечение автомобильной дороги I категории с другими дорогами и дорог II и III категорий между собой при суммарной интенсивности более 12000 авт. сут. Пересечения и примыкания дорог в одном уровне рекомендуется выполнять под прямым или близким к нему углом.
- Автомобильные дороги I – IIIкатегорий пересекают железные дороги в разных уровнях. Автомобильные дороги IV и V категории пересекают железные дороги, как правило, в одном уровне. Случаи пересечения в разных уровнях изложены в [2] пункт.6.31. Угол пересечения дорог в одном уровне должен быть не менее 60° и как можно ближе к прямому углу.
- Проектируемая дорога I – III категории должна обходить населенные пункты с условием подъездов к ним. Расстояние от кромки проезжей части до линии застройки должно быть не менее 200 м. При обходе населенных пунктов автомобильную дорогу по возможности следует прокладывать с подветренной стороны, ориентируясь на направление ветра в особо неблагоприятные с точки зрения загрязнения воздуха в осенне-зимние периоды года.
- Направление трасс автодорог по лесным массивам по возможности должно совпадать с направлением господствующих ветров в целях обеспечения естественного проветривания и уменьшения заносимости дорог снегом.
- При прохождении через лесные массивы следует предусматривать мероприятия по охране окружающей среды и не нарушать сложившиеся естественные условия.
- В случаи если криволинейный участок трассы попадает на лесной массив, сокращается видимость при движении на автомобиле, тогда требуется срезать деревья, кустарники так, чтобы обеспечить расчётную видимость.

С целью огибания неблагоприятных участков рельефа,на карте намечают контрольные точки,в которыхтрасса будет изменять свое движение,при этомне рекомендуют превышать предельное значение уклона местности по направлению трассы,указанного в таблице5.Промежуточные точки образуют ломаную линию, гдеуглы поворота трассы обозначаются: ВУ1, ВУ2 и т.д.(Рис. 6).

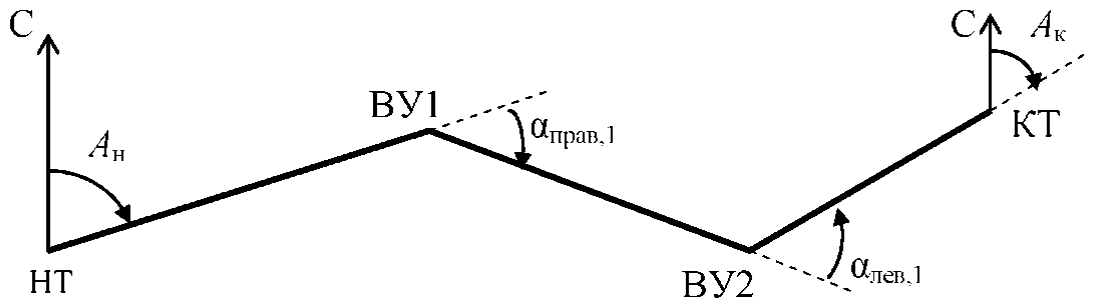


Рис.6. Схема трассы для определения углов поворота, начального и конечного азимутов

Определяем начальный $A_н$ и дирекционный угол$A_к$. По результатамрассчётов должна выполняться проверка:

$$\sum_{n=1}^{N_{прав}} \alpha_{прав} + \sum_{n=1}^{N_{лев}} \alpha_{лев} = A_к - A_н,$$

где $a_{прав}$и $a_{лев}$ – углы поворота направо (по часовой стрелке) и налево (против часовой стрелки) соответственно; $N_{прав}$,$N_{лев}$ – количество правых илевых углов поворота соответственно; $A_н$, $A_к$– начальный и конечный дирекционный угол соответственно. Значения румбов заносятся в ведомость углов поворота, прямых и кривых (Табл. 6).

Таблица6

Ведомость углов поворота, прямых и кривых

Точка	Полож. вершины угла			Величина угла поворота		Радиус, м	Элементы кривой, м				Положение переходных кривых								Расстояние между вершинами углов, м	Длина прямой, м
											Нач.		Кон.		Кон.		Нач.			
	ПК+			влево	вправо		тангенс	Переходные кривые	Круговая кривая	Биссектриса	ПК+		ПК+		ПК+		ПК+			

3.4. Вписывание кривых в углы магистрального хода

Согласно*СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги»*[2],рекомендуется вписывать в углы поворота круговые кривые радиусом не менее 3000 м, что обеспечит безопасного движения на участках поворота трассы.Но в условиях сложного рельефа данное требование выполнить непросто. В зависимости от категории дороги вводятся ограничения на минимальные значения радиусов кривых в плане трассы (Табл. 5).

Различают круговые кривые малых радиусов $R \leq 2000$м для 2 – 5 категории или $R \leq 3000$ м для 1 категории,они сопрягаются с прямыми участками трассы специальными переходными кривыми. Если $R > 2000$м для 2 – 5 категории, переходные кривые не предусматриваются, исключением является 1 категория $R > 3000$м

Разбивку пикетажа ведут до вершины первого угла поворота, чтобы продолжить пикетаж, необходимо запроектировать закругление, определить пикетажное положение начала закругления и конца закругления, вынести пикеты на кривую и после этого продолжить разбивку пикетажа до вершины следующего угла поворота.

Пример плана трассы для различных радиусов приведен на рисунке8.

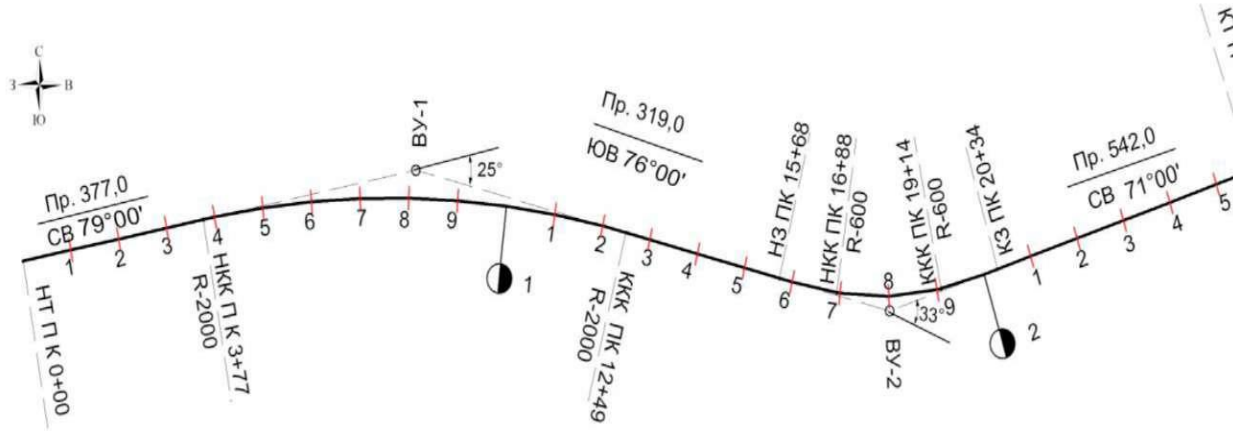


Рис. 7. Оформление плана трассы на чертежах масштабов мельче 1:2000

В первую очередь визуально или при помощи шаблонов с различными радиусами определяется радиус. Затем отталкиваясь от него, выбирается алгоритм вписания круговых кривых с переходными кривыми или без них.

3.4.1. Вписывание круговых кривых без переходных кривых

Порядок вписывания круговых кривых в углы поворота трассы следующий:

1. Выбирается пикет с углом поворота.
2. Радиус круговой кривой должен быть не менее 2000 м и определяют элементы круговойкривой: тангенс *Т*, длину круговой кривой *К,* биссектрису *Б* и домер *Д*, по формулам:

$$T = R \cdot tg\frac{\alpha}{2}, \qquad K = \frac{R \cdot \pi \cdot \alpha}{180},$$

$$Б = \sqrt{T^2 + R^2} - R, \quad Д = 2T - K, \quad Б = R(sec\frac{\alpha}{2} - 1)$$

где α –угол поворота трассы (ВУ1), секанс $\sec\alpha = 1/\cos\alpha$. Домер показывает, на сколько метров трасса становится короче после вписывания кривой.

3. От вершины угла поворота ВУ1 в обе стороны по отрезкам ломаной откладывают в масштабе тангенсы, определяя тем самым точки начала круговой кривой (НКК) и конца круговой кривой (ККК). Из точек НКК и ККК откладывают пунктирные линии перпендикулярно отрезкам ломаной линии (Рис. 8).Их пересечение образует центр окружности, вписываемой в угол поворота.

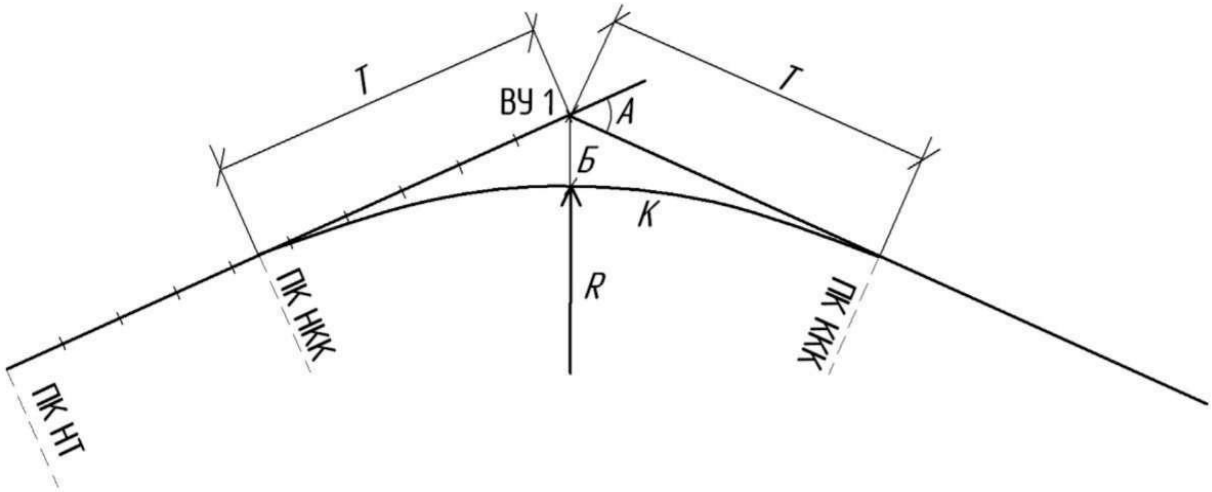


Рис. 8. Схема вписывания круговой кривой без переходных кривых

4. Вычисляют значения пикетажного положения точек НКК и ККК по формулам

ПК НКК = ПК ВУ1 – Т;

ПК ККК = ПК ВУ1 + *Т*– *Д*

5. Результаты расчётов заносятся в таблицу 6.

С помощью циркуля или лекаловписывают круговую кривую.В том случае, когда происходит накладка тангенсов двух углов поворота, необходимо уменьшить радиусы вписываемых кривых. Если значения радиусов достигли минимальных значений, а тангенсы все равно перекрываются, то необходимо изменить положение вершин ломаного хода (сократить число углов поворота или уменьшить их величины).

6. После построения всей трассы, для проверки выполненных вычислений используются формулы:

$$\sum T - \sum К = \sum Д; \sum L_{\alpha} - \sum Д = L_{тр}; \sum L_{пр} - \sum К = L_{тр},$$

где $\sum L_{\alpha}$ – сумма расстояний между углами поворота трассы, $\sum L_{пр}$ – сумма расстояний прямых участков трассы, $L_{тр}$ – длина трассы.

3.4.2. Вписывание круговых кривых с переходными кривыми

При радиусе вписываемой кривой(*R*< 2000 м 2 – 5 категория и *R*<3000 м 1 категория), тогда для большей плавности прямые участки автомобильной дороги сопрягаются с круговыми кривыми при помощи *переходных кривых.*Согласно требованиям технических норм на дорогах I–IIIтехнических категорий автомобили должны проезжать кривые без снижения скорости. Такому движению в лучшей степени соответствуют кривые другого очертания – *клотоида.*Для категорий IV – Vприменяют тормозные кривые.

Длину переходной кривой назначают по углу поворота трассы, исходя из условия достаточно замедленного нарастания центробежной силы во время проезда кривой, не вызывая неприятных ощущений у пассажиров[7].

Приводимые в [2] длины переходных кривых следует рассматривать как минимально допустимые. Их значения приведены в таблице7.

Таблица 7

Минимальные значения переходных кривых в зависимости от радиуса

R,м	300	400	500	600–1000	1000–2000
L,м	90	100	110	120	100

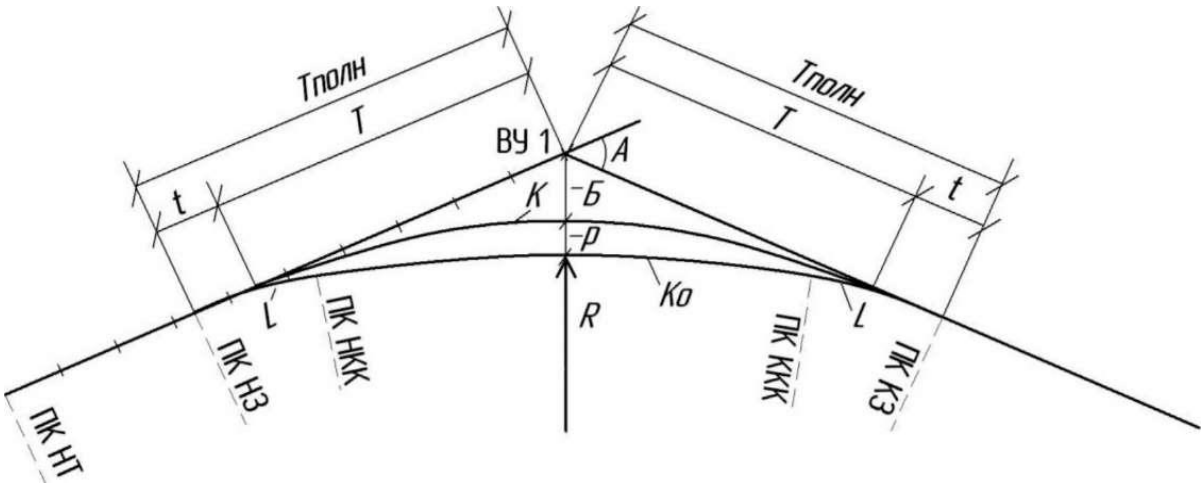


Рис. 9. Схема вписывания круговой кривой с переходными кривыми

Алгоритм вписывания круговой кривой состоит из этапов:

1. Задается радиус круговой кривой *R< 2000 м*, из таблицы выбирается соответствующее значение переходной кривой *L*.

2. Переходные кривые учитывают путем введения добавочных значений*t*по линии тангенсов и по линии биссектрисы*p*. При помощи формул:

- для тангенса$T_{полн}=T+t$;
- для круговой кривой $K_{полн}=K+L$;
- для биссектрисы $Б_{полн}=Б+p$;
- для домера $D_{полн}= 2T_{полн} + K_{полн}$;
- длина круговой кривой $K= K_{полн}-2L$;

где$t = L - Rsin\beta_L,\ p = \frac{L^2}{24R} - \frac{L^4}{2688R^3}$, уголмежду касательными в начале и в конце переходной кривой β_Lнаходиться из выражения $\beta_L = \frac{180°L}{2\pi R}$. Обязательно угол $\alpha \geq 2\beta_L$. Значения параметров *Т, Б, К* определяются согласно предыдущему разделу.

3. Вычисляются пикетажные положения точек начала и конца закругления (НЗ, КЗ) начала и конца круговой кривой (НКК, ККК) по формулам:

ПК НЗ = ПК ВУ – $T_{полн}$;
ПК КЗ = ПК НЗ + $K_{полн}$;
ПК НКК = ПК НЗ + L;
ПК ККК = ПК КЗ – L;

В качестве проверки должно выполняться условие ПК ККК – ПК НКК = *К*.

4. Результаты расчётов заносятся в таблицу 6.

5. От угла ВУ1 отмеряются в обе стороны $T_{полн}$ и строятся перпендикуляры к оси трассы. Точка пересечения перпендикуляров будет центр вписываемого радиуса, который должен пройти через расстояние *Б+р* отложенного из центра угла согласно рисунку 9.

3.4.3. Разбивка закруглений

Разбивка закруглений без переходных кривых

Круговая кривая по сравнению с прямыми участками разбивается не пикеты с учётом кривизны кривой, поэтому отложить пикеты равными участками по 100 м здесь не получиться. Разбивка круговых кривых обычно проводится от ПК НККпо прямоугольным координатам*X*и*Y*,определяемым по зависимостям

$$\begin{cases} X = Rsin\beta, \\ Y = R(1 - cos\beta), \end{cases} \quad (1)$$

где β– угол, стягивающий дугу длиной s(например, ПК НКК 6+25 до точки разбивки, ПК 7+00 на рисунке11s =75м).

$$\beta = \frac{180°s}{2\pi R}.$$

Порядок разбивки закруглений без переходных кривых на пикеты следующий:

1. Вычисляется угол β, связывающий дугу от ПК НКК до ближайшего пикета.
2. Определяются координаты X,Yэтого пикета по формулам.
3. Откладываются координату X от ПК НКК по линии тангенсов,Y– перпендикулярно линии тангенсов (Рис. 10).
4. Определяется длина хорды, стягивающей дугу между пикетами, лежащими на круговой кривой. Для этого повторяются пункты 1 – 3 до следующего и откладываются координаты следующего пикета.
5. Измеряется длина хорды и им разбивается кривая до ПК ККК.

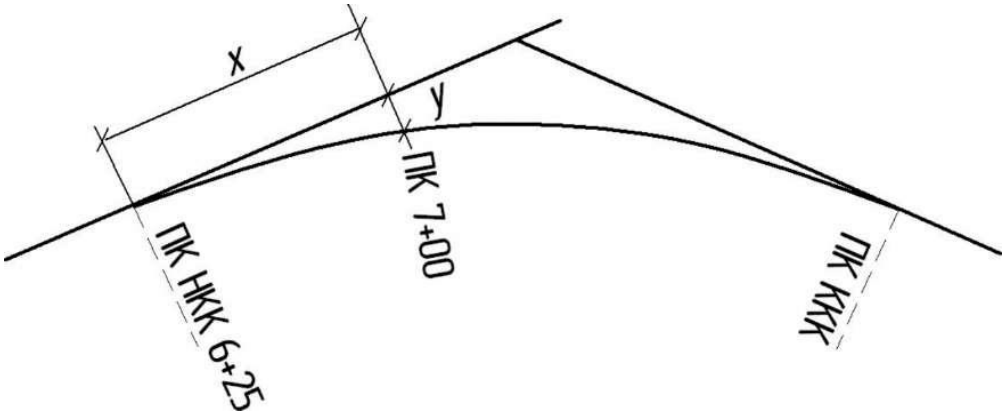


Рис. 10 Координаты точек на кривой закругления

Разбивка закруглений с переходными кривыми

Детальную разбивку закруглений с переходными кривыми обычно производят от линии тангенсов по прямоугольным координатамXиYна основании формул, выведенных из общей теории применения клотоиды в качестве переходной кривой.

Прямоугольные координаты любой точки, расположенной на переходной кривой, определяются по приближенным формулам:

$$\begin{cases} X = s - \frac{s^5}{40R^2L^2}, \\ Y = \frac{s^7}{6RL} - \frac{s^7}{336R^3L^3}, \end{cases} \quad (2)$$

где s– длина дуги между разбивочной точкой и началом клотоиды (ПК НЗ или ПК КЗ), L– длина клотоиды,R– радиус круговой кривой.

Порядок разбивки закруглений с переходными кривыми на пикеты следующий:

1. Находится расстояние от ПК НЗ до следующего пикета. Например, от ПК НЗ 7+56 до ПК 8+00 расстояние s= 44 м.

2. Если $s<L$, то определяются координаты этого пикета, расположенного на клотоиде, по формулам (2).

Если$s>L$, то сразу определяют координаты ПК НКК.

3. Находятся координаты ПК НКК $X_{НКК}$ и $Y_{НКК}$ по формулам (2) при $s= L$.

4. Аналогичным образом находят координаты точки ККК и откладывают значения X иYот точки ПК НЗ по линии тангенсов и перпендикулярно ей соответственно.

5. Далее определяется положение центра окружности для вписывания круговой кривой. Он лежит на пересечении пунктирных линий, построенных перпендикулярно к линиям тангенсов, и проходящих через точки НКК и ККК.

6. После этого можно приступать к разбивке круговой кривой. Для ее детальной разбивки снова используются формулы (1), только в этом случае начало координат принимают в начале круговой кривой (НКК). Обозначим эти координаты круговой кривой относительно НКК как

$$\begin{cases} x = Rsin\beta, \\ y = R(1 - cos\beta), \end{cases} \quad (3)$$

где β– угол, стягивающий дугу от НКК до разбиваемой точки.

Чтобы перейти в систему координат с началом в точке ПК НЗ, необходимо провести преобразования координат, то есть сделать параллельный перенос и поворот осей координат:

$$\begin{cases} X = xcos\beta_L - ysin\beta_L + X_{НКК}, \\ Y = ycos\beta_L + xsin\beta_L + Y_{НКК}, \end{cases} \quad (4)$$

где β_L– угол между касательными в начале и конце переходной кривой, определяемый ранее.

7. По формулам (3, 4) находятся координаты следующего пикета для того, чтобы оценить длину хорды, стягивающей пикеты на круговой кривой.

8. Измеряется длина хорды стягивающей пикет и ей круговая кривая разбивается дальше до ПКККК.

9. Аналогичным образом определяются пикеты, лежащие на второй переходной кривой – от КЗ до ККК.

3.5. Сравнение вариантов трассы

Сравнение вариантов трассы выполняют по технико-эксплуатационным показателям (ТЭО). Лучшим считается вариант, имеющий больше преимуществ, которые обозначаются знаком «+», если

имеем недостаток то используем знак «–». Технико-эксплуатационные показатели указываются в таблице 8.

Таблица 8

Сравнение вариантов трассы

Показатели	Ед. изм.	1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант	Преимущество варианта		
					1-й	2-й	3-й
1	2	3	4	5	6	7	8
Длина трассы	м.						
Коэффициент удлинения трассы	-						
Средняя величина угла поворота	рад/м						
Длина прямых участков	м.						
Суммарная протяженность пересекаемых трассой участков: лесов, болот, сельхозугодий, населенных пунктов	м.						
Средний уклон трассы	%						
Число искусственных сооружений на водотоках: больших и средних мостов, малых мостов и труб	шт.						
Число пересечений с автомобильными и железными дорогами	шт.						

Общая длина трассы характеризуется длиной трассы и коэффициентом удлинения трассы

$$K_{удл} = \frac{L_{тр}}{L_{вл}};$$

где $L_{тр}$ – длина варианта трассы, м; $L_{вл}$– длина трассы по воздушной линии, м.

Плавность трассы характеризуется относительной средней величиной углов поворота, рад./м,

$$r_{cp} = \frac{\sum_{n=1}^{N} rad_n}{L_{mp}}$$

rad_n– величина n-го угла поворота, измеряемая в градусах; N– количество углов поворота.

В пояснительной записке необходимо сделать вывод, где обосновываются варианты трассы, и дается их краткое техническое описание, указав, что препятствует трассированию по воздушной линии, чем определяется расположение углов поворота, величина принятого радиуса. В описании указывается: количество углов поворота, и на каких пикетах, пересечение трассы с преградами, начало и конец пересечения, характеристика рельефа (уклона) трассы, длина трассы.

4. Поперечный профиль дороги

Так как данная работа является учебной, и временные рамки не позволяют охватить все этапы проектирования. В результате в работе отсутствует раздел «Проектирование продольного профиля трассы», но для проектирования поперечного профиля понадобятся высотные отметки, в плюсовых точках, которые заносятся в таблицу 9 для каждого варианта трассы.

Таблица 9

Точки	Пикеты	Отметки, м
НТ		
Река «Ока»		
НКК		
Авт.Дор.III– категории		
ККК		
КТ		

Поперечные профили назначают в зависимости от высоты насыпи или глубины выемки, а также от грунтовых условий с учетом природных особенностей района строительства.

Первым делом следует определить руководящую отметку. Руководящая отметка необходима для того, чтобы установить оптимальную высоту насыпи, которая обеспечит нормальные условия эксплуатации земляного полотна. Она зависит от 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. В практике руководящая отметка рассчитывается по нескольким критериям и выбирается наибольшая.

4.1. Обоснование руководящих отметок

Руководящая отметка назначается из условия снегонезаносимости дороги. Схема к ее определению показана на рисунок 11.

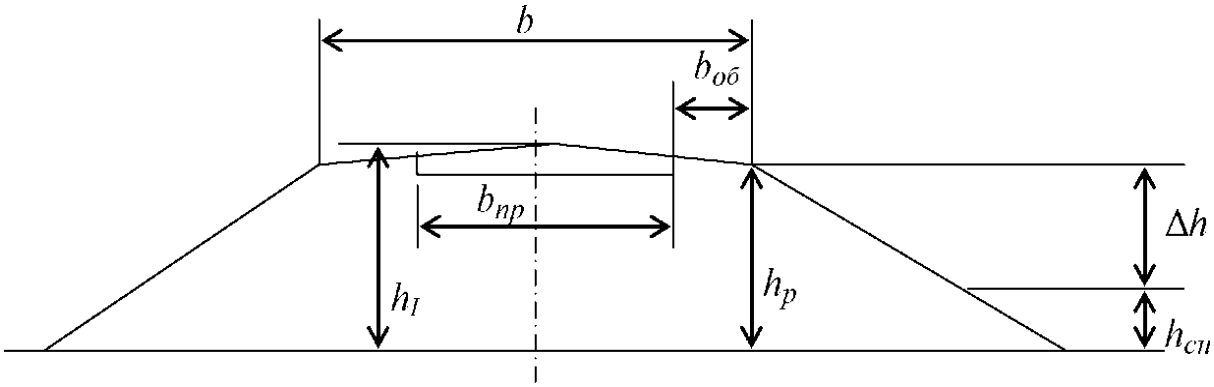


Рис. 11. Руководящая отметка из условия снегонезаносимости

Условие снегонезаносимости заключается в том, что отметка бровки насыпи должна быть не менее величиныh_p,определяемой в соответствии по формуле:

$$h_p = h_{сн} + \Delta h,$$

где$h_{сн}$– расчетная толщина снегового покрова 5%–ой обеспеченности; Δh– возвышение бровки насыпи над уровнем снежного покрова, зависящее от категории дороги. Величина Δhвыбирается из таблицы10.

Таблица 10

Параметры	Возвышение бровки насыпи над уровнем снежного покрова, м				
Категория	I	II	III	IV	V
Δh	1,2	0,7	0,6	0,5	0,4

В районах, где расчетная высота снежного покрова превышает 1 м, необходимо проверить достаточность возвышения бровки насыпи над снеговым покровом с учетом снега,сбрасываемого с дороги. Математически это требование можно выразить следующим образом:

При $\Delta h < \Delta h_s$, где$\Delta h_s = 0{,}375\ h_{сн} b/a$,тогда принимаем$\Delta h_s$,

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

Руководящую отметку по увлажнению определяют от верха покрытия дорожной одежды до поверхности земли или до уровня поверхностных вод. Схема определения отметки показана на рисунок12.

При необеспеченном стоке воды от поверхности земли руководящая отметка определится по формуле:$h_{II} = h_2^{норм} + h_{пв}$ или $h_{II} = h_1^{норм}$ при отсутствии грунтовых вод. Отметка определяется для кромки проезжей

части. Где$h_2^{норм}$– возвышение поверхности покрытия дорожной одежды над уровнем стоящих вод;$h_{пв}$– толщина слоя воды над поверхностью земли.Значения$h_2^{норм}$и$h_1^{норм}$принимаются по таблицы11 в зависимости от дорожно-климатической зоны и грунта рабочего слоя.

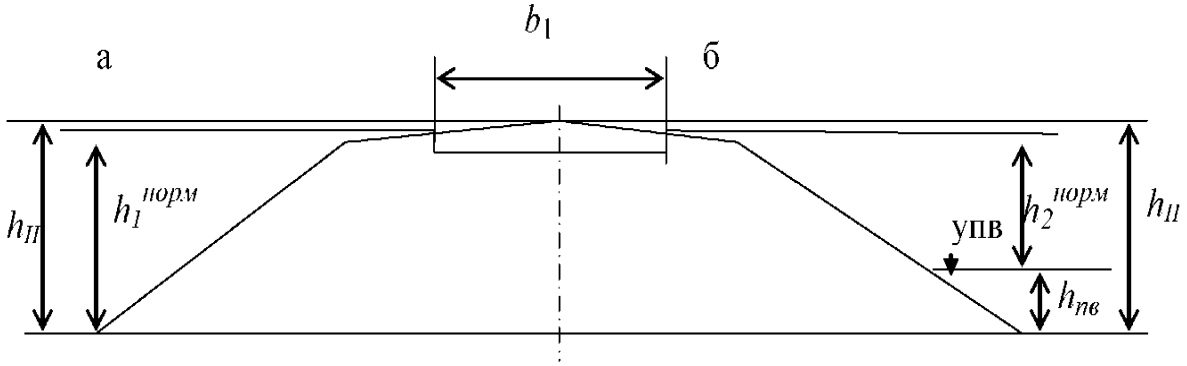


Рис. 12. Руководящая отметка из условия увлажнения

Таблица 11

Грунт рабочего слоя	Наименьшее возвышение поверхности покрытия, м, в пределах дорожно-климатической зоны			
	I –II	III	IV	V
Песок мелкий, супесь легкая крупная, супесь легкая	1,1	0,9	0,75	0,5
Песок пылеватый, супесь пылеватая	1,5	1,2	1,1	0,8
Суглинок легкий, суглинок тяжелый, глина	2,2	1,8	1,5	1,1
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый, суглинок тяжелый пылеватый	2,4	2,1	1,8	1,2

Наибольшую из полученных отметок необходимо перевести в руководящую отметку оси проектируемой поверхности дорожного покрытия.

В соответствии со сводом правил [2] при проектировании земляного полотна следует применять типовые, а иногда индивидуальные решения. Задачей курсовой работы будет сконструировать насыпь согласно найденной руководящей отметкеи подобрать грунт насыпи региону проектирования.

Крутизну откосов насыпям на прочном основании назначают согласно пункту 7.26 [2]. Для обеспечения стока воды с верхней части земляного полотна проезжей части и обочинам придают поперечные уклоны. Они

определяются в зависимости от категории дороги, дорожно-климатической зоны, типа покрытия, типа укрепления и т.д., и указываются в таблице 5.

5. Расчёт дорожной одежды

Данный этап курсовой работы предполагает расчёт и проектирование дорожной одёжды нежесткого типас использованием нормативного документа *ОДН.218.046-01*[3].В ходе расчёта понадобится ряд исходных данных:

- номер дорожно-климатической зоны;
- категория автомобильной дороги;
- заданный срок службы дорожной одежды $T_{сл}$(Табл. 6.2. [3]);
- заданная надежность $K_н$(таблица 3.1 [3]);
- грунт рабочего слоя насыпи с характеристиками (Приложение 2.1. [3]);

Расчёт на прочность дорожной одежды выполняется по трем критериям: по допускаемому упругому прогибу, поусловию сдвигоустоичивости между слоями и на сопротивление усталостномуразрушению от растяжения при изгибе. Во всех случаях для оценки напряженного состояния конструкции используют решения теории упругости.

Запроектированная дорожная одежда должна удовлетворять следующим качествам: прочность, надёжность при эксплуатации, долговечность, а также экономичность по расходу дефицитных материалов и энергии.

Задачей проектирования дорожной одежды является выбор конструктивных слоев дорожной одежды, расчёт или проверка толщины каждого слоя покрытия и при этом должны соблюдаться качества указанные выше.

Нормативная нагрузка при расчёте по прочности принимается согласно [2] в зависимости от капитальности дорожной одежды: при капитальной дорожной одежде – 115 кН с параметрами p=0,6 мПа D = 39 см ; при облегченной или переходной – 100 кН с параметрами p=0,6 мПа D = 37см.

Расчет на прочность

1.) Вычисляем суммарное расчетное количество приложений расчетной нагрузки за срок службы

Вычисление приведённой интенсивности N_p:

$$N_p = f_{пол} \sum_{m=1}^{n} N_m S_{mсум},$$

где $f_{пол}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним, определяемый по табл. 3.2.[3];n – общее число различных марок транспортных средств в составе транспортного потока;N_m – число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств m-ой марки;$S_{mсум}$ – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства m-ой марки к расчетной нагрузке $Q_{расч}$, определяется в соответствии с Приложением 1 [3]. Согласно П.1.7. [3], допускается приближенно принимать суммарный коэффициент приведения $S_{mсум}$ по данным таблицы П.1.3.[3]

Далее определяем суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности конструкции за срок службы:

$$\sum N_p = 0{,}7N_p \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} T_{рдг} k_n$$

где $T_{рдг}$ – расчетное число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости конструкции – определяется в соответствии с приложением 6 [3]. k_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого (табл. 3.3 [3]); K_c – коэффициент суммирования (Приложение 6 табл. 6.5 [3]) определяем по формуле:

$$K_c = \frac{q^{T_{сл}} - 1}{q - 1}$$

где $T_{сл}$ – расчетный срок службы;q – показатель изменения интенсивности движения по годам,принимаемq = 1,05, значит, приращение количества автомобилей не будет превышать 5%.

2)Предварительно назначаем конструкцию и расчётные значенияпараметров.За основу можно принять типовой проект или составить слои самостоятельно по приложению ОДН 218. 046 – 01[3], и учитывая условия по минимальной толщине слоёв таблицы 12. Конструктивные слои и их характеристики заносятся в таблицу 13

Таблица 12

Материалы дорожной одежды	Толщина, см
Крупнозернистый асфальтобетон	7
Мелкозернистый асфальтобетон	5
Щебеночно-мастичный асфальтобетон	3
Щебёночные (гравийные) материалы обработанные органическим вяжущим	8
Щебень, обработанный органическим вяжущим по способу	8

пропитки	
Щебеночные материалы не обработанные вяжущим	
- на песчаном основании	15
- на прочном основании (укреплённый грунт)	8
Каменные грунты или материалы обработанные вяжущим	10

Таблица 13

Расчетные параметры

№	Материал слоя	h слоя, см	Расчет упругому прогибу, *E*, мПа	Расчет по усл.сдвигоуст., *E*, Па	Расчет на напряжение при изгибе			
					E, мПа	R_0, мПа	α	m

*Расчет по допускаемому упругому прогибу*ведется по критерию:

$$E_{общ} > E_{тр(min)} \cdot K_{пр}^{тр},$$

где $E_{общ}$определяется послойным суммированием, начиная с подстилающего грунта по номограмме рисунок 3.1; [3] из условий $E_н/E_в, h_в/D$,постепенно прибавляя все слои дорожной одежды ($E_н$– модуль упругости нижнего слоя, $E_в$ – модуль упругости верхнего слоя, $h_в$– толщина верхнего слоя)

Требуемый модуль упругости определяем по формуле:

$$E_{тр} = 98,65\ [lg(\Sigma N_р) – 3,55]$$

Определяем коэффициент запаса прочности по упругому прогибу:

$$K_{зап} = E_{общ} / E_{тр(min)} \cdot,$$

который должен быть больше требуемого минимального коэффициента прочности. Требуемый минимальный коэффициент прочности $K_{пр}^{тр}$для расчета по допускаемому упругому прогибу находиться по таблице 3.1. [3]

Рассчитываем конструкцию *по условию сдвигоустройчивости в грунте*по критерию:

$$T_{пр} > T \cdot K_{пр}^{тр},$$

Действующие в грунте активные напряжения сдвига вычисляем по формуле:

$$T = \tau_н \cdot p$$

Для определения $\tau_н$предварительно назначенную дорожную конструкцию приводим к двухслойной расчетной модели.

В качестве нижнего слоя модели принимаем грунт. Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле, где значения модулей

упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл. П. 3.2 [3] при расчетной температуре плюс 20 ^0C

$$E_в = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i}$$

По отношениям $E_н/E_в$, и $h_в/D$ и при φ – углавнутреннего трения грунта, с помощью номограммы (Рис.3.3.[3]) находим удельное активное напряжение$\tau_н$ сдвига от единичной нагрузки.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле:

$$T_{пр} = C_N K_д + 0{,}1\gamma_{ср} z_{оп}\, tg\varphi_{ст},$$

где C_N – сцепление в грунте земляного полотна (или в промежуточном песчаном слое), принимаемое с учетом повторности нагрузки (Приложение 2, табл. П. 2.6. или табл. П. 2.8.) [3];$K_Д$ – коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания пункт 3.35 [3].$z_{оп}$ – глубина расположения поверхности слоя, проверяемого на сдвигоустойчивость, от верха конструкции, см;$\gamma_{ср}$– средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя, кг/см;$\varphi_{ст}$ – расчётная величина угла внутреннего трения материала поверяемого слоя при статическом действии нагрузки. (Приложение 2 таблица 2.4.)[3].

Определяем коэффициент запаса прочности по условию сдвигоустойчивости между слоями:

$$K_{зап} = T_{пр} / T,$$

который должен быть больше требуемого минимального коэффициента прочности. Требуемый минимальный коэффициент прочности $K_{пр}^{тр}$ для расчета по условию сдвигоустойчивости между слоями находиться по таблице 3.1. [3]

Рассчитываем конструкцию *на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе* по критерию:

$$\sigma_r < R_N / K_{пр}^{тр}$$

Расчет выполняем в следующем порядке:

Приводим конструкцию к двухслойной модели. Где нижний слой модели – часть конструкции расположенная ниже пакета асфальта бетонных слоев, то есть щебеночное основание и грунт рабочего слоя. Модуль упругости нижнего слоя модели определяем по номограмме (Рис.3.1.)[3] как общий модуль для двухслойной системы.

К верхнему слою относятся все асфальтобетонные слои.Модуль упругости верхнего слоя устанавливаем по формуле:

$$E_{в} = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i},$$

По отношениям $E_н/E_в$, и $h_в/D$ по номограмме (Рис. 3.4.)[3]определяем $\overline{\sigma_r}$, расчетное растягивающие напряжение вычисляем по формуле:

$$\sigma_r = \overline{\sigma_r} p K_{в},$$

где p – расчётное давление; K_B– коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном, принимаем 0,85.

Вычисляем предельное растягивающее напряжение приR_0 для нижнего слоя асфальтобетонного пакета (табл. П.3.1. [3]) по формуле:

$$R_N = R_0 k_1 k_2 (1 - v_R t),$$

где v_R – коэффициент вариации прочности при растяжении (таблица П. 4.1) [3];t– коэффициент нормативного отклонения (таблица П. 4.2) [3]; $k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}}$ – коэффициент, учитывающий снижение прочности при усталостных явленийпри многократном приложении нагрузки, m; α находятся по таблице. П. 3.1[3];k_2 – коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодно-климатических факторов (таблица 3.6) [3].

Определяем коэффициент запаса прочности по условию сдвигоустойчивости между слоями:

$$K_{зап} = R_N / \sigma_r \cdot,$$

который должен быть больше требуемого минимального коэффициента прочности. Требуемый минимальный коэффициент прочности $K_{пр}^{тр}$ для расчета по условию сдвигоустойчивости между слоями находиться по таблице 3.1. [3]

Делаем вывод, о том удовлетворяет ли выбранная конструкциядорожного покрытия всем критериям прочности.

Список литературы

1. СНиП 23-01-99* «Строительная климатология» – М., 1999. – 108 с.
2. СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги» – М., 2012. – 106 с.
3. ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд» – М., 2001. – 148 с.
4. ГОСТ Р 52399-2005 «Геометрические элементыавтомобильных дорог»– М.: Стандартиформ, 2006. – 148 с.
5. СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» – М., 2011. – 355 с.
6. В.Ф.Бабков, О.В.Андреев. Проектирование автомобильных дорог. – Ч.1.–М.:Транспорт, 1979. – 366с.
7. Ксенодохов В.И. Таблицы для клотоидного проектирования и разбивки плана и профиля автомобильных дорог. Справочник. 2-е изд, перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1981. – 431 с.