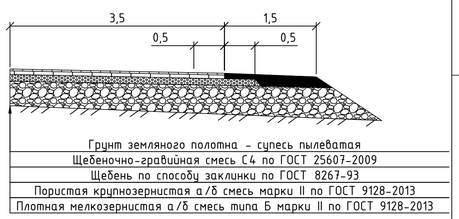
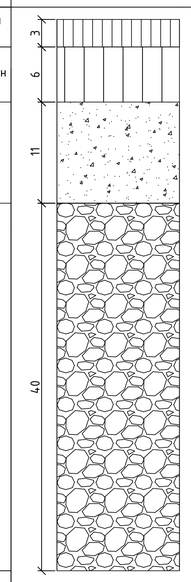
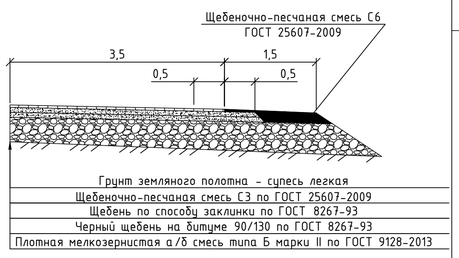
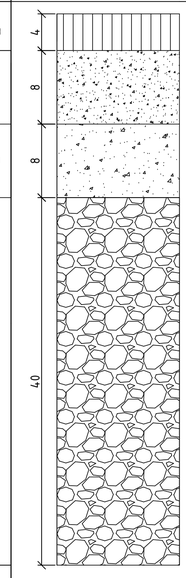
Исходные данные

Категория дороги	IV	Дорожно-климатическая зона	II-подзона 2
Тип дорожной одежды	Облегченный	Схема увлажнения	Схема 1
Число полос движения	2	Коэффициент уплотнения грунта	1,02
Номер расчётной полосы от обочины	1	Суммарное число приложений нагрузки	108934
Уклоны в местах перелома профиля, ‰	-	Расчётное количество дней в году $T_{рдг}$	140
Расчётная влажность грунта W_p	0,67	Расчётный срок службы $T_{сл}$, лет	10
Нагрузка, кН/Давление, МПа/D штампа, см	100/0,60/39	Глубина промерзания грунтов	3,45
Заданная надёжность $K_н$	0,9	Требуемый $K_{пр}$ на упругий прогиб/сдвиг, изгиб	1,10/0,94

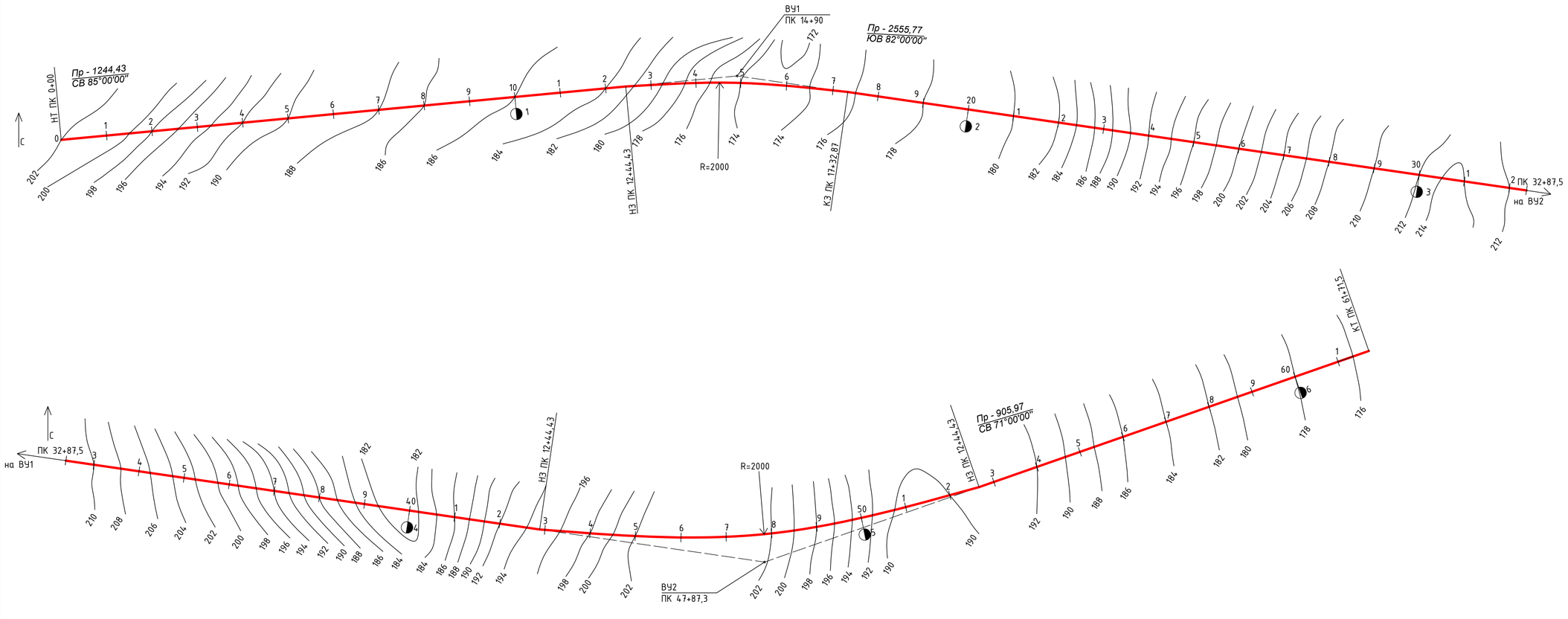
Расход материалов

	Покрытие		Основание	
1	Горячий плотный мелкозернистый а/б типа Б марки II h=0,03	Горячий пористый крупнозернистый а/б марки II h=0,06	Фракционированный щебень методом заклинки h=0,11	Щебеночно-песчаная смесь С4 h=0,40
	1296 $м^3$	2592 $м^3$	5498,8 $м^3$	32721,3 $м^3$
	Покрытие		Основание	
2	Горячий плотный мелкозернистый а/б типа Б марки II h=0,04	Черный щебень методом заклинки h=0,8	Фракционированный щебень методом заклинки h=0,8	Щебеночно-песчаная смесь С3 h=0,40
	1728 $м^3$	3956 $м^3$	4079,4 $м^3$	32721,3 $м^3$

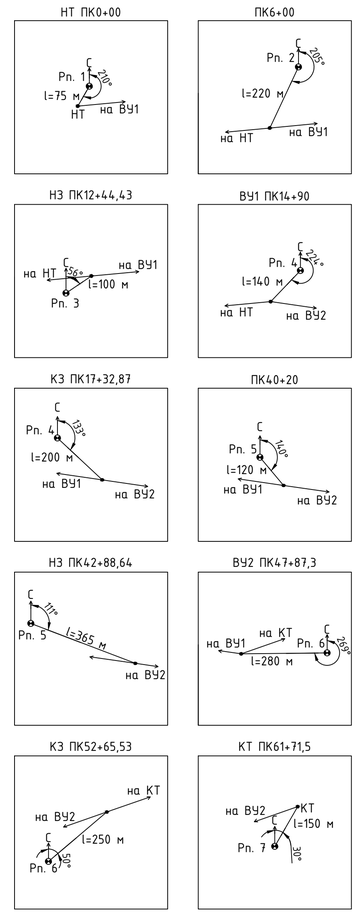
Наименование конструкций	Чертеж	Расчет по ОДН 218.046 - 01					
		Наименование конструктивных слоев	Схема конструкций, толщина слоев	Расчетные характеристики слоев, МПа	Общий модуль упругости на поверхности слоев, МПа	Допускаемые напряжения по сдвигу и растяжению, МПа	Расчетные напряжения по сдвигу и растяжению, МПа
Двухслойное покрытие: - верхний слой из горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона типа Б марки II h=0,03 - нижний слой из горячего пористого крупнозернистого асфальтобетона марки II h=0,06 - верхний слой основания щебень фракционированный по способу заклинки h=0,11 - нижний слой основания щебеночно-гравийная смесь С4 h=0,40		Горячий мелкозернистый плотный асфальтобетон		E_1 = 2400	$E_{экв}$ = 240 Запас=46 %		
		Горячий крупнозернистый пористый асфальтобетон		E_2 = 1400	$E_{экв2}$ = 196	$R_{пр}$ = 1,88 Запас 54 %	σ=1,301
		Щебень фракционированный по способу заклинки		E_3 = 450	$E_{экв3}$ = 153		
		Щебеночно-гравийная смесь С4		E_4 = 230	$E_{экв4}$ = 122	$T_{пр}$ = 0,0144 Запас 4 %	T=0,0137
		Супесь пылеватая		E=51 φ=14 c=0,006	$E_{экв5}$ = 51	$l_{пуч}$=3,74 см	
Двухслойное покрытие: - верхний слой из горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона типа Б марки II h=0,04 - верхний слой основания из чёрного щебня по способу заклинки h=0,08 - средний слой основания щебень по способу заклинки h=0,08 - нижний слой основания щебеночно-гравийная смесь С3 h=0,40		Наименование конструктивных слоев	Схема конструкций, толщина слоев	Расчетные характеристики слоев, МПа	Общий модуль упругости на поверхности слоев, МПа	Допускаемые напряжения по сдвигу и растяжению, МПа	Расчетные напряжения по сдвигу и растяжению, МПа
		Горячий мелкозернистый плотный асфальтобетон		E_1 = 2400	$E_{экв}$ = 284 Запас 31 %		
		Чёрный щебень по способу заклинки		E_2 = 1400	$E_{экв2}$ = 242	$R_{пр}$ = 1,959 Запас 40 %	σ=1,48
		Щебень фракционированный по способу заклинки		E_3 = 600	$E_{экв3}$ = 194		
		Щебеночно-гравийная смесь С4		E_4 = 280	$E_{экв4}$ = 125	$T_{пр}$ = 0,015	T=0,014
		Супесь пылеватая		E=51 φ=14 c=0,006	$E_{экв5}$ = 51	$l_{пуч}$=3,74 см	

Изм.	Кол.уч	Лист	№Изм	Подп.	Дата	ВКР-08.03.01.00.15-2016		
						Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт		
Разработал		Краснов				Проект участка автомобильной дороги с вписыванием кривых в плане оптимального радиуса	Стадия	Лист	Листов
Проверил		Гавриленко					У	4	5
Утв.		Серватинский				Дорожные одежды	кафедра АДиГС		
Нормоконтр		Федорова							

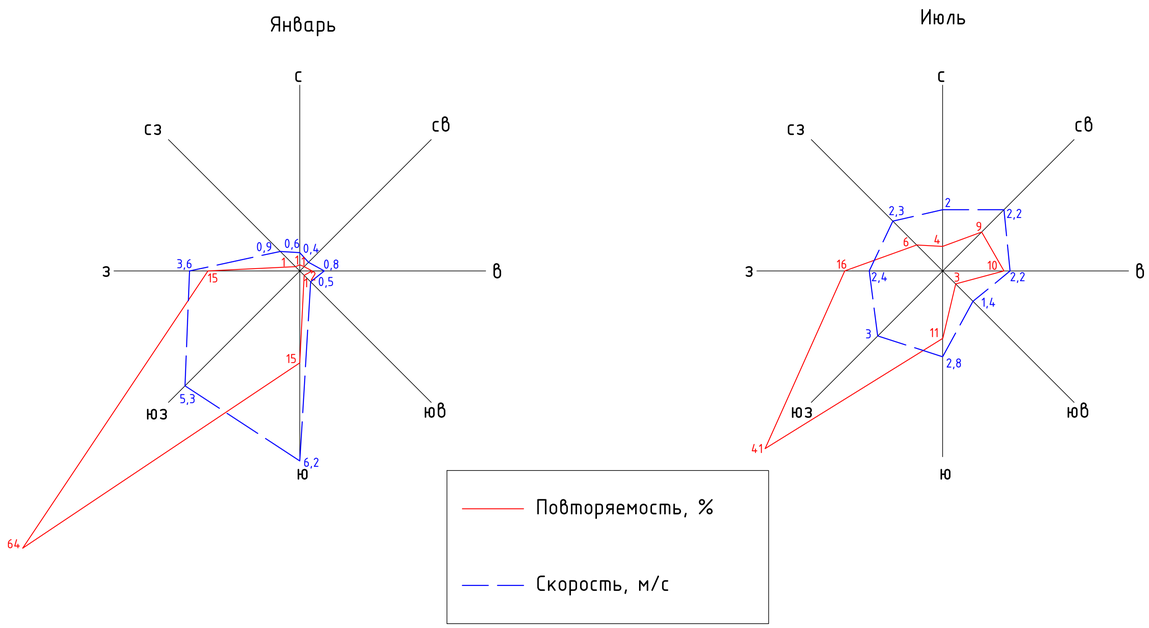
План трассы



Привязка трассы М1:10000



Розы ветров



Ведомость углов поворота, прямых и кривых

Точка	Положение вершины угла			Величина углов поворота		Радиус, м	Элементы кривой, м						Положение переходных кривых								Расстояние между вершинами углов, м	Длина прямой, м
													начало		конец		конец		начало			
	км	ПК	+	влево	вправо		тангенс	тангенс	переходные кривые		круговая кривая	биссектриса	ПК	+	ПК	+	ПК	+	ПК	+		
НТ	1	0	00																			
																					1490	1244,43
ВУ1	2	14	90	–	14°	2000	245,57	245,57	–	–	488,44	15,02	12	44,43	12	44,43	17	32,87	17	32,87		
																					3297,3	2553,07
ВУ2	5	47	87,3	28°	–	2000	498,66	498,66	–	–	976,89	61,23	42	88,64	42	88,64	52	65,53	52	65,53		
																					1384,2	885,54
КТ	7	61	71,5																			

Проверки:

$\Sigma S = L_{тр}$

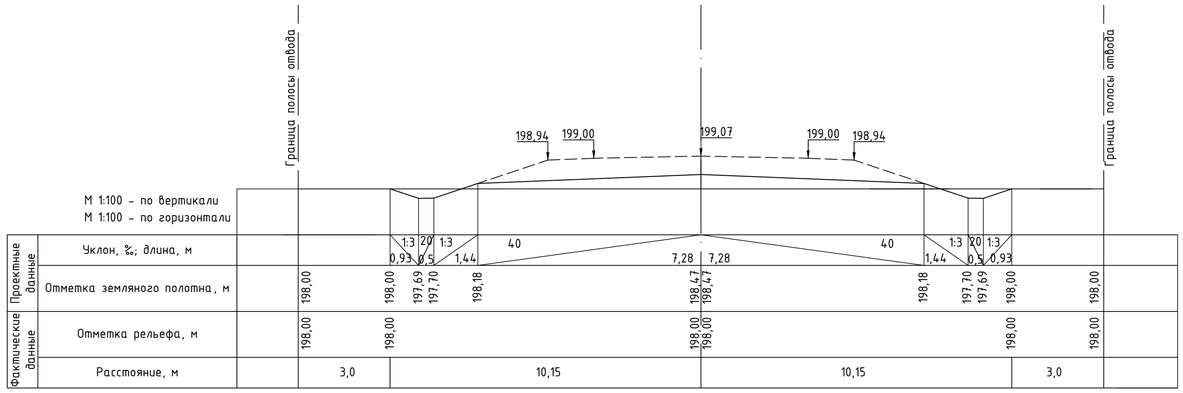
1490+3297,3+1384,2=6171,5

$\Sigma К + \Sigma П = L_{тр}$

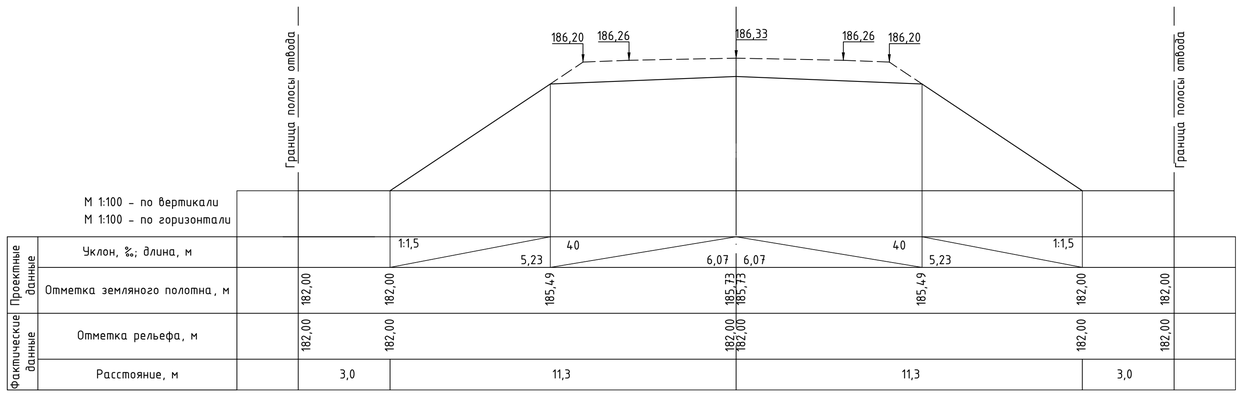
488,44+976,89+1244,43+2553,07+885,54=6171,5

						ВКР-08.03.01.00.15-2016			
Изм.	Кол.уч	Лист	№Изм	Подп.	Дата	Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт			
Разработал		Краснов				Проект участка автомобильной дороги с вписыванием кривых в плане оптимального радиуса	Стадия	Лист	Листов
Проверил		Гавриленко					У	1	5
Утв.		Серватинский				План трассы М1:5000	кафедра АДиГС		
Нормоконтр		Федорова							

Тип 1. Насыпь высотой до 2м с кюветами ПК 9+00



Тип 3. Насыпь высотой до 6м ПК 40+20



0+16	3+89
3+89	5+18
5+18	7+29
7+29	8+47
8+47	15+39
15+39	16+96
16+96	21+14
21+14	22+92
22+92	28+05
28+05	33+75
33+75	37+74
37+74	44+90
44+90	45+10
45+10	47+40
47+40	48+90
48+90	51+53
51+53	55+22
55+22	56+74
56+74	61+17,5

Изм.	Кол.уч.	Лист	№Изм.	Подп.	Дата	ВКР-08.03.01.00.15-2016			
						Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт			
Разработал		Краснов				Проект участка автомобильной дороги с вписыванием кривых в плане оптимального радиуса	Стадия	Лист	Листов
Проверил		Гавриленко					У	3	5
Утв.		Серватинский				Поперечные профили земляного полотна М:100	кафедра АДиГС		
Нормоконтр.		Федорова							

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования

«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
Кафедра автомобильных дорог и городских сооружений

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.В. Серватинский
«____» _____ 2016г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

.

08.03.01 «Строительство»
08.03.01.00.15 «Автомобильные дороги»

Проектирование участка автомобильной дороги с заданием кривых в плане оптимального радиуса

Руководитель _____ доцент, канд.техн.наук Т.В. Гавриленко
подпись, дата должность, учетная степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ Е.В. Краснов
подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____ Т.А. Федорова
подпись, дата инициалы, фамилия

Красноярск 2016

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования

«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Автомобильные дороги и городские сооружения»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ В.В. Серватинский

« _____» _____ 20 ___ г.

ЗАДАНИЕ

НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

в форме_____бакалаврской работы_____

(бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации)

Студенту Краснову Евгению Владимировичу
(фамилия, имя, отчество студента(ки)

Группа ДС12-11 Направление (специальность) 08.03.01
(код)

строительство
(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование участка автомобильной дороги с заданием кривых в плане оптимального радиуса.

Утверждена приказом по университету № 7065/с от 25 мая 2016
Руководитель ВКР Т.В. Гавриленко , доцент кафедры АД и ГС, к.т.н.

(инициалы, фамилия, должность, ученое звание иместо работы)

Исходные данные для ВКР: Район проектирования – пгт. Больша Мурта, инженерно-геологические условия - несущие грунты: супеси и суглинки непросадочные; глубина сезонного промерзания принимается равной 2,5 м. , интенсивность движения- 556 авт./сут., ежегодный прирост интенсивности- 4,6%; состав транспортного потока приведён в пункте 2.1.

Перечень разделов ВКР: Анализ исходных данных, проектирование трассы, продольный профиль, поперечный профиль, дорожные одежды, экономическая часть.

Перечень графического материала: 1- План трассы, 2- Продольный профиль, 3- Поперечный профиль, 4- Дорожные одежды, 5- Кривые в плане оптимального радиуса

Консультанты по разделам:

Руководитель ВКР _____ Т.В. Гавриленко
(подпись) (инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению _____
(подпись) (инициалы и фамилия студента)

« ____» _____ 20__г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ... 6
1 Природные условия ... 7
1.1 Климат района проектирования ... 7
1.2 Рельеф местности ... 10
1.3 Растительность и почвы ... 10
1.4 Гидрография и гидрология ... 11
1.5 Инженерно-геологические условия ... 11
1.6 Дорожно-строительные материалы ... 11
1.7 Заключение по природным условиям ... 11
2 Обоснование технических нормативов дороги ... 12
2.1 Определение категории дороги ... 12
2.2 Основные технические показатели автомобильной дороги ... 15
3 Проектирование трассы ... 17
3.1 Трассирование по воздушной линии ... 17
3.2 Оценка радиусов круговых кривых в плане с учетом их восприятия водителем ... 17
3.3 Вписывание круговых кривых в углы магистрального хода ... 22
3.4 Проектирование 1-го варианта трассы ... 22
3.5 Проектирование 2-го варианта трассы ... 24
3.6 Сравнение вариантов трассы ... 26
4 Продольный профиль для выбранного варианта трассы ... 28
4.1 Определение отметок рельефа ... 28
4.2 Обоснование руководящих отметок ... 28
4.2.1 Руководящая отметка для I типа местности ... 28
4.2.2 Руководящая отметка для II типа местности ... 29
4.3 Назначение контрольных точек для проектной линии продольного профиля ... 30
4.4 Описание проектной линии ... 31
5 Земляное полотно ... 32
5.1 Поперечные профили земляного полотна ... 32
6 Дорожные одежды ... 33
6.1 Выбор типа и конструкции дорожной одежды ... 33
6.2 Алгоритм расчета дорожной одежды ... 34
6.3 Исходные данные и расчётная нагрузка ... 39
6.4 Расчёт первого варианта дорожной одежды ... 40
6.5 Расчет второго варианта дорожной одежды ... 45
6.6 Сравнение вариантов дорожной одежды ... 49
7 Решение вопросов водоотвода ... 50
7.1 Система поверхностного водоотвода. Параметры кюветов ... 50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ... 51
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ... 52
ПРИЛОЖЕНИЕ А ... 54
ПРИЛОЖЕНИЕ Б ... 54

ПРИЛОЖЕНИЕ В 57

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе запроектирован участок автомобильной дороги, соединяющий трассу Р-409(100 км Енисейского тракта) с пгт. Большая Мурта.

В связи с вводом в эксплуатацию "Свинокомплекса "Красноярский" АО, доступ транспорта к которому возможен только через пгт. Большая Мурта, участились проезды автопоездов по дорогам посёлка. Дорожное полотно улиц не выдерживает нагрузку, и разрушается.

Запроектированная автомобильная дорога призвана разгрузить улицы от транспорта, проезжающих транзитом через посёлок. Также она будет удобна жителям, которые проживают на другом конце населённого пункта и в соседних деревнях.

В работе, проектирование кривых в плане проведено с учётом обеспечения видимости.

1 Природные условия

1.1 Климат района проектирования

Климатическая характеристика района изысканий приводится по данным метеорологической станции г. Красноярск и СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* [1]. Дорожно–климатическая зона – II.

Красноярск находится зоне умерено–континентального климата. Зима характеризуется сухой и морозной погодой, оттепели случаются редко. Лето в Красноярске характеризуется теплой погодой и наибольшим в году количеством осадков. Среднегодовое количество осадков составляет около 500 мм, максимум приходится на июль, минимум – на февраль [2].

Средняя температура воздуха в Красноярске по данным многолетних наблюдений составляет −6.5 °C. Наиболее тёплый месяц — июль, его средняя температура +15.7 °C. Наиболее холодный месяц — январь с температурой −28.7 °C. Самая высокая температура, отмеченная в Красноярске за весь период наблюдений — +38 °C (21 июля 2015 года), а самая низкая −52,8 °C (8 января 1931 года) [3].

Необходимые для расчетов и проектирования дороги данные приведены в ведомости климатических показателей (табл. 1.1)

Таблица 1.1 – Ведомость климатических показателей

Показатель		Ед.изм.	Величина
1 Абсолютная температура воздуха	минимальная	°C	–48
	максимальная	°C	+37
2 Средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки вероятностью превышения	0,98	°C	-40
	0,92	°C	-37
3 Преобладающее направление ветра за	декабрь-февраль		З
	июнь-август		З
4 Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь		м/с	4,3
5 Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль		м/с	0
6 Среднемесячная относительная влажность воздуха наиболее	холодного месяца	%	78
	теплого месяца	%	70
7 Количество осадков за	ноябрь-март	мм	104
	апрель-октябрь	мм	367
8 Расчетная толщина снежного покрова с обеспеченностью 5%		м	0,5
9 Расчетная глубина промерзания грунтов		см	250

Таблица 1.2 – Среднемесячная температура воздуха

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя температура воздуха, °С	-16,0	-14,0	-6,3	1,9	9,7	16,0	18,7	15,4	8,9	1,5	-7,5	-13,7

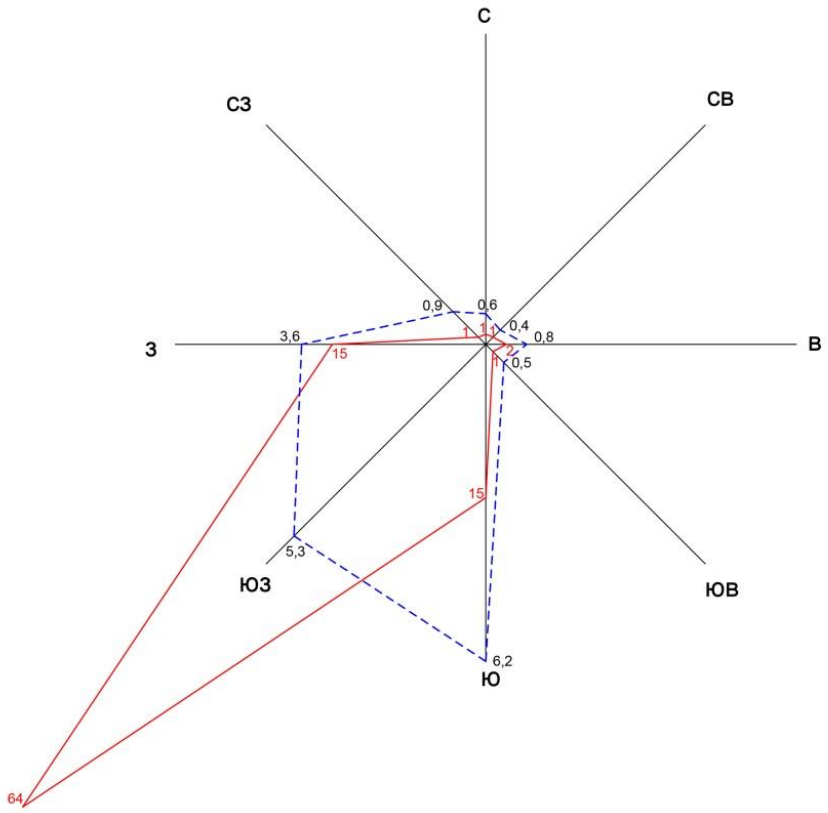
Таблица 1.3 – Повторяемость и скорость ветра за январь

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Повторяемость, %	1	1	2	1	15	64	15	1
Скорость, м/с	0,6	0,4	0,8	0,5	6,2	5,3	3,6	0,9

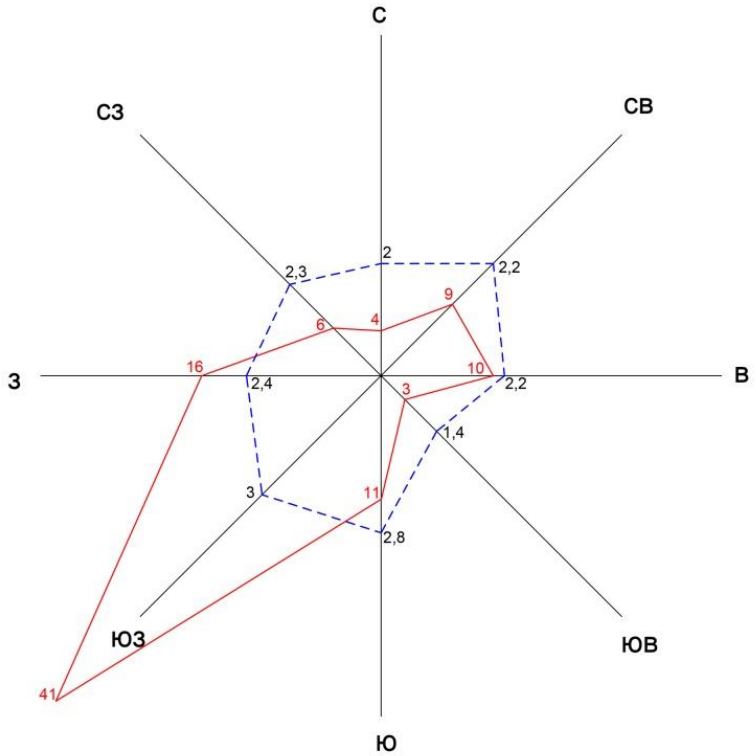
Таблица 1.4 – Повторяемость и скорость ветра за июль

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Повторяемость, %	4	9	10	3	11	41	16	6
Скорость, м/с	2,0	2,2	2,2	1,4	2,8	3,0	2,4	2,3

Январь

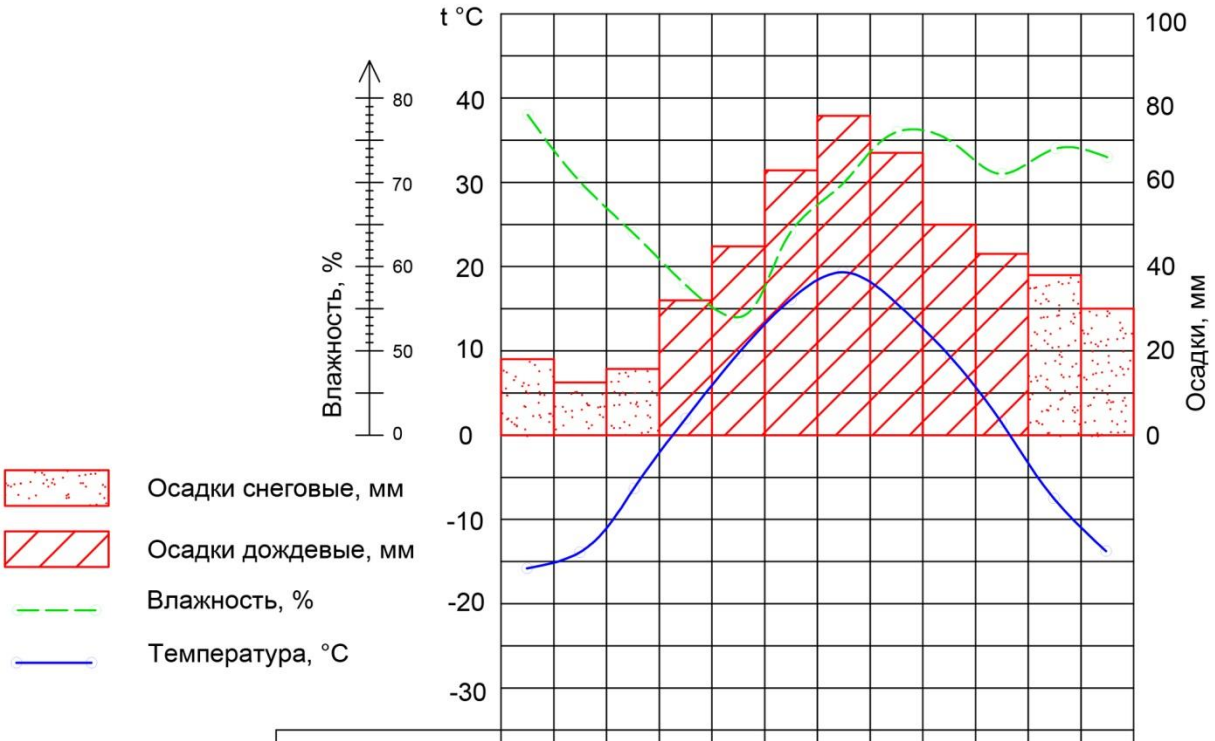


Июль



- - - – средняя скорость ветра, м/с; —— – повторяемость, %

Рисунок 1.1 – Розы ветров



Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Осадки, мм	18	13	16	32	45	63	76	67	50	43	38	30
Температура,°C	-16,0	-14,0	-6,3	1,9	9,7	16,0	18,7	15,4	8,9	1,5	-7,5	-13,7
Влажность, %	78	70	64	58	54	64	70	76	75	71	74	73
Ветер	↙	←	↙	←	←	↙	↙	↙	←	←	←	←

Рисунок 1.2 – Дорожно-климатический график

1.2 Рельеф местности

Район проектирования расположен на расстоянии 90 км к северу от г. Красноярска.

Рельеф в районе проектирования трассы относится к слабохолмистому, с колебаниями отметок от 170 до 215 м. Район представляет собой возвышенное плато с уклонами на северо-восток, прорезанное долиной речки Нижняя Подъёмная. Уклоны по всей местности обеспечивают естественный водоотвод.

1.3 Растительность и почвы

Большую часть Большемуртинского района покрывают хвойные леса.

В Большемуртинском районе почвы представлены чернозёмами и серыми лесными почвами. Чернозёмные почвы отличает высокая гумусированность [4].

1.4 Гидрография и гидрология

Проектируемая дорога находится в 13 км к западу от реки Енисей и 2 км к северу от реки Нижняя Подъёмная. Грунтовые воды расположены на глубине 10-15 м.

1.5 Инженерно-геологические условия

Основные несущие грунты – супеси и суглинки непросадочные.

Глубина сезонного промерзания принимается равной 2,5 м.

1.6 Дорожно-строительные материалы

В районе проектирования расположено Большемуртинское ДРСУ, на базе которого имеется дробильно-сортировочный комплекс по выпуску щебня различных фракций. Также в составе ДРСУ два асфальтобетонных завода, цементно-бетонный завод, три карьера по добыче гравийно-песчаной смеси.

1.7 Заключение по природным условиям

В целом природные условия в данном районе пригодны для строительства автомобильной дороги.

2 Обоснование технических нормативов дороги

2.1 Определение категории дороги

Категория дороги устанавливается по СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги» [5]. Она зависит от расчетной интенсивности движения, которая измеряется в приведённых к легковому автомобилю единицах в сутки (прив. ед./сут). Приведение осуществляется с помощью специальных коэффициентов, которые представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходная интенсивность движения

Тип транспортного средства	Грузоподъемность, т	%
Легковые автомобили		57
Грузовые автомобили	до 2 включительно	13
	от 2 до 6	9
	от 6 до 8	11
	от 14 до 18	6
Автопоезда	до 12	2
	от 12 до 20	1
Автобусы большой вместительности		1
Сумма, авт./сут.		556

Таблица 2.2 – Коэффициенты приведения интенсивности

Типы транспортных средств	Коэффициент приведения
Легковые автомобили	1,0
Грузовые автомобили грузоподъемностью, т.:	
до 2 включительно	1,3
от 2 до 6	1,4
от 6 до 8	1,6
от 8 до 14	1,8
Автопоезда грузоподъемностью, т:	

Окончание таблицы 2.2

до 12 включительно	1,8
от 12 до 20	2,2
Автобусы большой вместимости	3

Расчетную интенсивность движения принимают суммарно в обоих направлениях на основе данных экономических изысканий. За расчетную принимают среднегодовую суточную приведенную к легковому автомобилю интенсивность движения за последний год перспективного периода. Перспективный период принимают равным 20 годам.

В районах, где развитие экономики идет опережающими дорожное строительство темпами, расчет перспективной интенсивности движения проводится по степенной зависимости [6]:

$$N = N_{\text{пр. исх}}(1 + \frac{p}{100})^t, \tag{2.1}$$

где $N_{\text{пр.исх}}$ – приведенная исходная интенсивность движения, прив.ед./сут.;

p – процент ежегодного прироста интенсивности, %;

t – перспективный период (20 лет).

Сначала определяют исходную интенсивность каждого типа автомобиля:

$$N_i = N_{\text{исх}} \frac{P}{100}, \tag{2.2}$$

где $N_{\text{исх}}$ – исходная интенсивность движения, авт/сут.;

P – процент автомобилей каждого типа.

Расчет выполняют с использованием таблицы 2.1:

$$N_1 = 556 \frac{57}{100} = 317 \text{ авт./сут.},$$

$$N_2 = 556\frac{13}{100} = 73 \text{ авт./сут.},$$

$$N_3 = 556\frac{9}{100} = 50 \text{ авт./сут.},$$

$$N_4 = 556\frac{11}{100} = 62 \text{ авт./сут.},$$

$$N_5 = 556\frac{6}{100} = 34 \text{ авт./сут.},$$

$$N_6 = 556\frac{2}{100} = 12 \text{ авт./сут.},$$

$$N_7 = 592\frac{1}{100} = 6 \text{ авт./сут.},$$

$$N_8 = 592\frac{1}{100} = 6 \text{ авт./сут..}$$

Далее вычисляем исходную интенсивность движения, измеряемую в приведенных автомобилях:

$$N_{\text{прив}} = N_i \cdot k, \tag{2.3}$$

где N_i – берется из формулы 2.2

k – коэффициент приведения для i-го транспортного средства

Расчет выполняют с использованием таблицы 2.2:

$$N_{\text{л прив}} = 317 \cdot 1 = 317 \text{ прив.ед./сут.},$$

$$N_{\text{2т прив}} = 73 \cdot 1{,}3 = 95 \text{ прив.ед./сут.},$$

$$N_{\text{2-6т прив}} = 50 \cdot 1{,}4 = 70 \text{ прив.ед./сут.},$$

$$N_{\text{6-8т прив}} = 62 \cdot 1{,}6 = 100 \text{ прив.ед./сут.},$$

$$N_{\text{8-14т прив}} = 34 \cdot 1{,}8 = 62 \text{ прив.ед./сут.},$$

$N_{12т\ прив} = 12 \cdot 1{,}8 = 22$ прив.ед./сут.,

$N_{12\text{-}20т\ прив} = 6 \cdot 2{,}2 = 14$ прив.ед./сут.,

$N_{авт\ прив} = 6 \cdot 3 = 18$ прив.ед./сут.,

$N_{пр.исх} = \sum N_i = 698$ прив. ед. сут..

Рассчитываем интенсивность движения на перспективу 20 лет по формуле (2.1):

$$N = 698 \cdot (1 + \frac{4{,}6}{100})^{20} = 1716 \text{ прив.ед./сут.}$$

По перспективной интенсивности движения принимаем дорогу IV категории.

2.2 Основные технические показатели автомобильной дороги

Таблица 2.2 – Основные технические показатели автомобильной дороги

Наименование показателя	Единица измерения	Величина показателя	Источник
1 Категория дороги	-	IV	СП 34.13330.2012
2 Интенсивность движения	прив. ед./сут	1716	СП 34.13330.2012
3 Расчетная скорость движения	км/ч	80	СП 34.13330.2012
4 Число полос движения	шт	2	СП 34.13330.2012
5 Ширина полосы движения	м	3	СП 34.13330.2012
6 Ширина проезжей части	м	6	СП 34.13330.2012
7 Ширина обочин	м	2	СП 34.13330.2012
8 Ширина краевой полосы	м	0,5	СП 34.13330.2012
9 Ширина укрепленной части обочины	м	1,5	СП 34.13330.2012

Окончание таблицы 2.2

10 Ширина земляного полотна	м	10	СП 34.13330.2012
11 Поперечный уклон проезжей части и краевой полосы при асфальтобетонном покрытии	‰	20	СП 34.13330.2012
12 Поперечный уклон обочины за пределами краевой полосы	‰	40	СП 34.13330.2012
13 Наименьшие радиусы кривых в плане	м	300	СП 34.13330.2012
14 Наибольший продольный уклон	‰	60	СП 34.13330.2012
15 Наименьшие радиусы выпуклых кривых в продольном профиле	м	5000	СП 34.13330.2012
16 Наименьшие радиусы вогнутых кривых	м	2000	СП 34.13330.2012
17 Расчетные расстояния видимости в продольном профиле:			
для остановки		150	
для встречного автомобиля	м	250	СП 34.13330.2012
при обгоне		600	

3 Проектирование трассы

3.1 Трассирование по воздушной линии

Вариант трассы по воздушной линии имеет длину 6090 м и северо-восточное направление. На своем пути он пересекает автомобильную дорогу на ПК 39+80, а с ПК 32+50 по ПК 39+60 проходит по застроенной территории населённого пункта.

Таким образом, трассирование дороги по воздушной линии не представляется возможным по причине пересечения её с населённым пунктом.

Далее рассматриваются два варианта трассы, обходящие населенный пункт. Трассы строятся по методу тангенсов. Кривые в плане назначены с учетом восприятия водителем дорожных условий по методике [7].

3.2 Оценка радиусов круговых кривых в плане с учетом их восприятия водителем

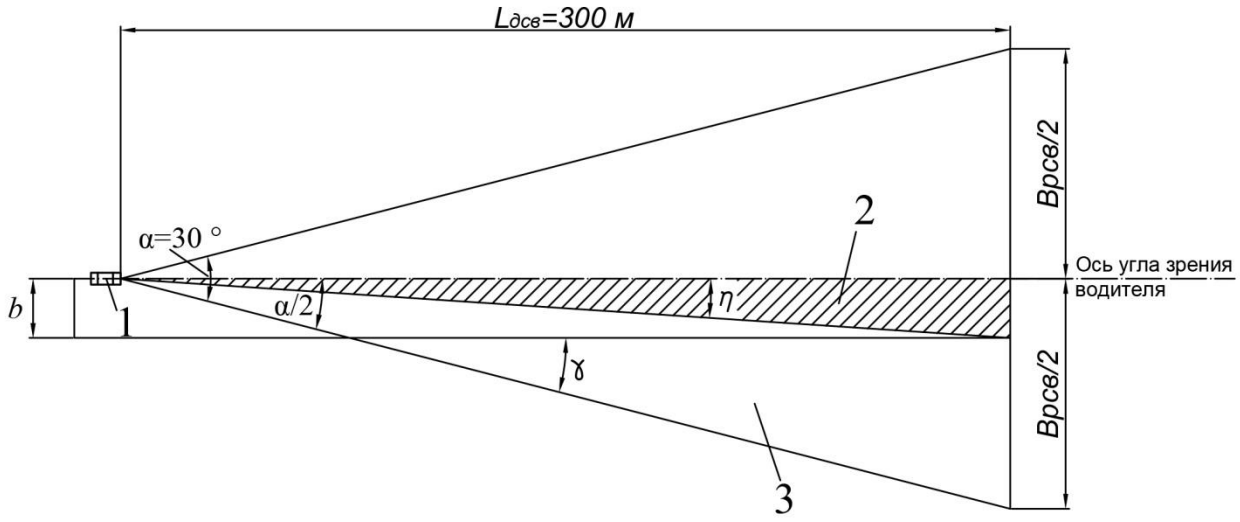
Опыт эксплуатации автомобильных дорог в условиях постоянного роста автомобильного парка и увеличения скоростей движения показывает, что действующие нормы проектирования автомобильных дорог не учитывают психофизиологических особенностей восприятия водителями дорожных условий и не гарантируют безопасность движения.

Для безаварийного управления автомобилем на кривых в плане водителю необходимо получать полную информацию с дороги и придорожной полосы в пределах зоны расчётной видимости. Эта зона определяется необходимым расстоянием видимости боковой полосы дороги. Фактические возможности водителя в каждый момент времени ограничены информацией, получаемой с зоны в виде треугольника, высотой которого является расстояние до точки сосредоточенного внимания на дороге, а угол при вершине определяется углом зрения. Первая величина зависит от скорости движения, вторая – от разрешающей способности зрения водителя.

Начиная с появления поворота на границе рамки чёткой видимости до момента въезда автомобиля на начало переходной кривой (НПК), поворот дороги вызывает у водителя настороженность. Дорога начинает диктовать свои требования, учащается ритм поступления информации по сравнению с ранее установившимся, соответствовавшим скорости движения.

Фактически водитель может охватить своим зрением площадь в пределах «треугольника сосредоточенного внимания», который характеризуется углом чёткой видимости водителя α и дальностью сосредоточенного внимания $L_{ДСВ}$. Проекция этого треугольника на ветровое стекло автомобиля образует так

называемую рамку чёткой видимости. Для этого должны удовлетворятся условия, указанные на рисунке 3.1.



1 – автомобиль; 2 – правая часть треугольника концентрации внимания;

3 – треугольник сосредоточенного внимания

Рисунок 3.1 – Схема наиболее рационального проектирования кривой:

При движении автомобиля по прямолинейному горизонтальному участку дороги у водителя постоянно остаётся в пределах угла зрения α угол γ, позволяющий без ущерба для восприятия информации и безопасности движения изменять направление дороги в плане. При этом угол η, характеризующий зону концентрации внимания, имеет одной из сторон ось зрения водителя.

В случае движения автомобиля по горизонтальному криволинейному участку дороги угол η должен плавно перемещаться в пределах сосредоточенного угла зрения водителя от оси угла зрения водителя к границе сосредоточенного внимания до первого совпадения стороны угла η с границей.

Определим для момента, когда угол η имеет одной из сторон границу сосредоточенного внимания, как изображено на рисунке 3.2, предельно допустимое значение угла γ, позволяющее изменять направление оси дороги и минимальный радиус круговой кривой, при котором ось дороги не будет выходить из зоны сосредоточенного внимания водителя.

Величина наименьшего радиуса, при котором дорога на участке поворота видна в пределах рамки чёткой видимости, может быть найдена исходя из схемы, показанной на рисунке 3.2.

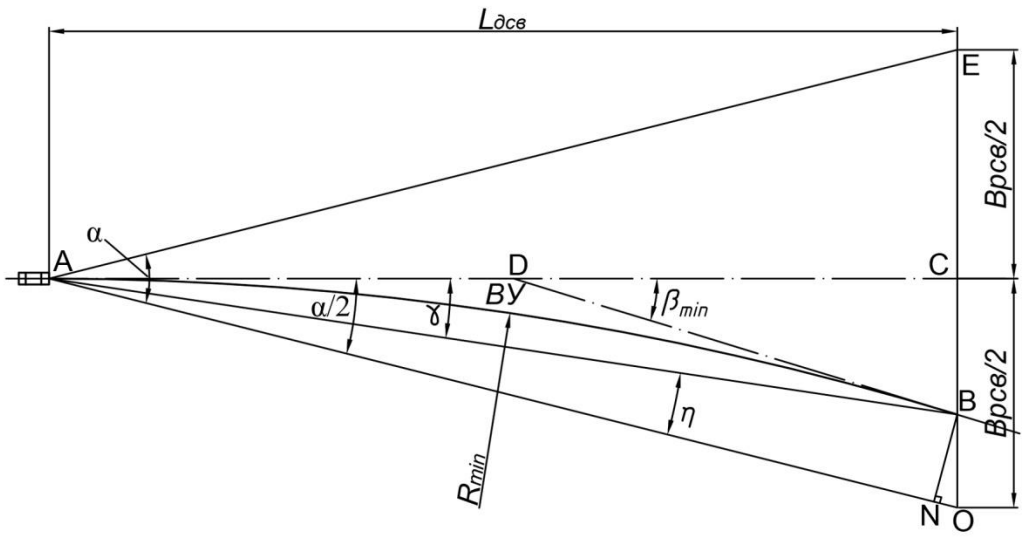


Рисунок 3.2 Схема для определения наименьшего радиуса кривой

Критическим является случай, когда граница угла сосредоточенного зрения является хордой, стягивающей кривую. Здесь радиус кривой будет:

$$R = \frac{AO}{2 \cdot \sin\gamma} = \frac{L_{\text{дсв}}}{\sin\beta}, \tag{3.1}$$

Предельно допустимый угол поворота трассы β=2γ может быть найден из следующих соображений. Граница угла чёткой видимости водителем должна проходить от траектории движения автомобиля на расстоянии боковой видимости (отрезок *ON*), равном:

$$S_{\text{бок}} = \frac{S_a \cdot v_{\text{пеш}}}{v_{\text{авт}}} = \left(\frac{t_1 + t_2}{3{,}6} + \frac{v_{\text{авт}}}{27 \cdot j}\right) \cdot v_{\text{пеш}}, \tag{3.2}$$

где t_1 – продолжительность реакции водителя, сек;

t_2 – запаздывание действия тормозного привода, сек;

j – отрицательное ускорение при торможении автомобиля, м/сек^2;

$v_{\text{авт}}$ – скорость автомобиля, км/ч;

$v_{\text{пеш}}$ – скорость пешехода, км/ч;

Если $S_{бок}$ больше половины ширины зоны чёткой видимости B на расстоянии дальности сосредоточенной видимости $L_{дсв}$ дорога должна быть ограждена от возможности внезапного появления на ней пешеходов или животных.

Граница угла чёткой видимости должна находиться от траектории движения автомобиля на расстоянии:

$$ON = S_{бок} + b\,, \tag{3.3}$$

где b – расстояние от оси зрения водителя до правой границы кузова автомобиля. Практически его можно принимать равным габариту автомобиля по ширине.

Из треугольника *OBN:*

$$OB = \frac{ON}{\cos\frac{\alpha}{2}} = \frac{S_{бок} + b}{\cos\frac{\alpha}{2}}\,, \tag{3.4}$$

$$OC = CB - OB = L_{дсв} \cdot \mathrm{tg}\frac{\alpha}{2} - \frac{S_{бок} + b}{\cos\frac{\alpha}{2}}\,. \tag{3.5}$$

Из треугольника *OCA:*

$$\mathrm{tg}\,\gamma = \frac{OC}{AC} = \mathrm{tg}\frac{\alpha}{2} - \frac{S_{бок} + b}{L_{дсв} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}}, \tag{3.6}$$

$$\gamma = \mathrm{arctg}\left(\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2} - \frac{S_{бок} + b}{L_{дсв} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}}\right) \tag{3.7}$$

Найдём предельно допустимый угол поворота трассы по формулам приведённым выше.

Согласно книге «Эстетика автомобильных дорог» Трескинский С.А., Кудрявцев Г.П., для дороги IV категории с расчётной скоростью движения 80 км/ч, угол чёткой видимости водителя α=30° и дальность сосредоточенного внимания $L_{ДСВ}$=300 м [8].

$$S_{бок} = \left(\frac{1+1}{3{,}6} + \frac{80}{27 \cdot 1{,}5}\right) \cdot 4 = 10{,}12 \text{ м},$$

$$ON = S_{бок} + b = 10{,}12 + 1{,}5 = 11{,}62 \text{ м}.$$

Из треугольника *OBN:*

$$OB = \frac{11{,}62}{\cos(15)} = 12{,}03 \text{ м},$$

$$OC = 300 \cdot \mathrm{tg}\frac{30}{2} - \frac{10{,}12 + 1{,}5}{\cos\frac{30}{2}} = 68{,}36 \text{ м}.$$

Из треугольника *OCA:*

$$\mathrm{tg}\,\gamma = \frac{68{,}36}{300} = 0{,}23,$$

$$\gamma = \mathrm{arctg}(0{,}23) = 12{,}84.$$

Строительные нормы и правила, как известно, требования к углам поворота не нормируют.

Для соблюдения требований оптимальных условий движения необходимо, что бы радиусы кривых в плане были не менее следующей величины:

$$R = \frac{300}{2 \cdot \sin 12{,}84} = 675{,}15 \text{ м}.$$

Следовательно, наименьший радиус, при котором дорога на участке поворота видна в пределах рамки чёткой видимости, будет равен 675 метрам.

3.3 Вписывание круговых кривых в углы магистрального хода

Процедура вписывания круговых кривых в углы поворота трассы состоит из следующих этапов.

1. Задают радиус круговой кривой и определяют элементы круговой кривой: тангенс, длину круговой кривой, биссектрису и домер по формулам:

$$T = R \cdot tg\frac{\alpha}{2}, \tag{3.1}$$

где R – радиус круговой кривой,

α – угол поворота трассы;

$$K = \frac{R\pi\alpha}{180}, \tag{3.2}$$

$$Б = \sqrt{T^2 + R^2} - R, \tag{3.3}$$

$$Д = 2 \cdot T - K. \tag{3.4}$$

2. Вычисляют значения пикетажного положения точек НКК и ККК по формулам:

$$\text{ПК НКК} = \text{ПК ВУ1} - T, \tag{4.5}$$

$$\text{ПК ККК} = \text{ПК НКК} + K. \tag{4.6}$$

3.4 Проектирование 1-го варианта трассы

Трасса проложена методом тангенсов. Она имеет 3 угла поворота. Первый угол поворота на ПК 12+80, равен 19° и принят с целью прохода трассы по наилучшему рельефу. Второй угол поворота на ПК 30+43,51, равен 34° и принят с целью обхода населённого пункта. Третий угол поворота на ПК 48+46,81, равен 10°, и принят для того, что бы прийти в точку конца трассы.

На участках с ПК 39+10 по ПК 40+05 и с ПК 53+50 по ПК 54+90 трасса проходит по пахотным землям. На ПК 40+61 трасса пересекает автомобильную дорогу. Длина первого варианта трассы составляет 6215,75 м.

Для соблюдения требований оптимальных условий движения необходимо, что бы радиусы кривых в плане были не менее 675 метров.

1. Радиус круговой кривой для первого угла поворота принимаем равным 2000 м. Определяем элементы круговой кривой для первого угла поворота:

$$T = 2000 \cdot tg\frac{19}{2} = 334{,}69 \text{ м},$$

$$K = \frac{2000 \cdot 3{,}14 \cdot 19}{180} = 662{,}89 \text{ м},$$

$$Б = \sqrt{334{,}69^2 + 2000^2} - 2000 = 27{,}81 \text{ м},$$

$$Д = 2 \cdot 334{,}69 - 662{,}89 = 6{,}49 \text{ м}.$$

Радиус круговой кривой для второго угла поворота принимаем равным 2000 м. Определяем элементы круговой кривой для второго угла поворота:

$$T = 2000 \cdot tg\frac{34}{2} = 611{,}46 \text{ м},$$

$$K = \frac{2000 \cdot 3{,}14 \cdot 34}{180} = 1186{,}22 \text{ м},$$

$$Б = \sqrt{611{,}46^2 + 2000^2} - 2000 = 91{,}38 \text{ м},$$

$$Д = 2 \cdot 611{,}46 - 1186{,}22 = 36{,}7 \text{ м}.$$

Радиус круговой кривой для третьего угла поворота принимаем равным 2000 м. Определяем элементы круговой кривой для третьего угла поворота:

$$T = 2000 \cdot tg\frac{10}{2} = 174{,}98 \text{ м},$$

$$K = \frac{2000 \cdot 3{,}14 \cdot 10}{180} = 348{,}89 \text{ м},$$

$$Б = \sqrt{174{,}98^2 + 2000^2} - 2000 = 7{,}64 \text{ м},$$

$Д = 2 \cdot 174{,}98 - 348{,}89 = 1{,}07$ м.

2. Вычисляем значения пикетажного положения точек НКК и ККК для первого угла поворота:

$$ПК\ НКК = ПК\ 12 + 80 - 334{,}69 = 9 + 45{,}31,$$

$$ПК\ ККК = ПК\ 9 + 45{,}31 + 662{,}89 = 16 + 08{,}2.$$

Вычисляем значения пикетажного положения точек НКК и ККК для второго угла поворота:

$$ПК\ НКК = ПК\ 30 + 43{,}51 - 611{,}46 = 24 + 32{,}05,$$

$$ПК\ ККК = ПК\ 24 + 32{,}05 + 1186{,}22 = 36 + 18{,}27.$$

Вычисляем значения пикетажного положения точек НКК и ККК для третьего угла поворота:

$$ПК\ НКК = ПК\ 48 + 46{,}81 - 174{,}98 = 46 + 71{,}83,$$

$$ПК\ ККК = ПК\ 46 + 71{,}83 + 348{,}89 = 50 + 20{,}72.$$

3.5 Проектирование 2-го варианта трассы

Трасса проложена методом тангенсов. Она имеет 2 угла поворота. Первый угол поворота на ПК 14+90, равен 14°, и принят с целью обхода населённого пункта. Второй угол поворота на ПК 47+87,3, равен 28°, и принят с целью прихода в точку конца трассы.

На участках с ПК 49+60 по ПК 52+30 и с ПК 55+00 по ПК 55+90 трасса проходит по пахотным землям. На ПК 41+20 трасса пересекает автомобильную дорогу. Длина второго варианта трассы составляет 6171,5 м.

Район проектирования позволяет вписывать кривые радиусом 2000 м и более.

Для соблюдения требований оптимальных условий движения необходимо, что бы радиусы кривых в плане были не менее 675 метров.

В данных условиях наиболее подходящий радиус будет равен 2000 м для первой и второй кривой. При таком радиусе дорога на участке поворота будет видна в пределах рамки чёткой видимости. Схемы участков поворота приведены на 5 листе графической части.

1. Радиус круговой кривой для первого угла поворота принимаем равным 2000 м. Определяем элементы круговой кривой для первого угла поворота:

$$T = 2000 \cdot tg\frac{14}{2} = 245{,}57 \text{ м},$$

$$К = \frac{2000 \cdot 3{,}14 \cdot 14}{180} = 488{,}44 \text{ м},$$

$$Б = \sqrt{245{,}57^2 + 2000^2} - 2000 = 15{,}02 \text{ м},$$

$$Д = 2 \cdot 245{,}57 - 488{,}44 = 2{,}7 \text{ м}.$$

Радиус круговой кривой для второго угла поворота принимаем равным 2000 м. Определяем элементы круговой кривой для второго угла поворота:

$$T = 2000 \cdot tg\frac{28}{2} = 498{,}66 \text{ м},$$

$$К = \frac{2000 \cdot 3{,}14 \cdot 28}{180} = 976{,}89 \text{ м},$$

$$Б = \sqrt{498{,}66^2 + 2000^2} - 2000 = 61{,}23 \text{ м},$$

$$Д = 2 \cdot 498{,}66 - 976{,}89 = 20{,}43 \text{ м}.$$

2. Вычисляем значения пикетажного положения точек НКК и ККК для первого угла поворота:

$$\text{ПК НКК} = 14 + 90 - 245{,}57 = 12 + 44{,}43,$$

$$\text{ПК ККК} = 12 + 44{,}43 + 488{,}44 = 17 + 32{,}87.$$

Вычисляем значения пикетажного положения точек НКК и ККК для второго угла поворота:

$$\text{ПК НКК} = 47 + 87{,}3 - 498{,}66 = 42 + 88{,}64,$$

$$ПК\ ККК = 42 + 88{,}64 + 976{,}89 = 52 + 65{,}53.$$

Ведомость углов поворота, прямых и кривых приведена в приложении А.

3.6 Сравнение вариантов трассы

Сравнение вариантов трассы производится по технико- экономическим показателям.

Таблица 3.1 – Сравнение вариантов трассы

Показатели	Ед. изм.	I-й вариант	II-й вариант	Преимущество	
				I-й вариант	II-й вариант
1 Длина трассы	м	6215,75	6171,5	-	+
2 Коэффициент удлинения трассы	-	1,02	1,01	-	+
3 Средняя величина угла поворота	рад/м	0,00012	0,00012	=	=
4 Средняя величина закругления	м/рад	2000	2000	-	+
5 Суммарная протяженность пересекаемых трассой участков:					
лесов	м	5010	4320	-	+
болот	м	0	0	=	=
сельхозугодий	м	235	360	+	-
населенных пунктов	м	520	565	+	-
6 Протяженность участков местности с уклоном по трассе до 30 ‰	м	3350	4371,5	-	+
7 Протяженность участков местности с уклоном по трассе, превышающим максимально допустимое значение уклона проектной линии $i_{доп}$ =60‰	м	350	100	-	+
8 Протяженность участков по косогору с уклоном более 90‰	м	0	0	=	=
9 Число искусственных сооружений на водотоках					
мостов	шт	0	0	=	=

труб	шт	5	4	-	+

Окончание таблицы 3.1

10 Число пересечений с автомобильными дорогами	шт	1	1	=	=
11Число пересечений с железными дорогами	шт	0	0	=	=

Вывод: 2-й вариант трассы более выгоден, т.к. он короче, имеет больше преимуществ и проходит по более спокойному рельефу.

4 Продольный профиль для выбранного варианта трассы

4.1 Определение отметок рельефа

Чтобы построить продольный профиль поверхности рельефа, необходимо знать его отметки на пикетах и плюсовых точках по оси дороги. Определение отметок осуществляется при помощи инструментов программы Google Earth. Отметки рельефа приведены в приложении Б.

4.2 Обоснование руководящих отметок

Руководящая отметка необходима для того, чтобы установить оптимальную высоту насыпи, которая обеспечит нормальные условия эксплуатации земляного полотна. Ее определяют с учетом 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.

По условиям увлажнения верхней толщи грунтов различают три типа местности:

1 – сухие участки, на которых поверхностный сток воды обеспечен;

2 – сырые участки с избыточным увлажнением в отдельные периоды года;

3 – мокрые участки с постоянным избыточным увлажнением.

4.2.1 Руководящая отметка для I типа местности

Руководящая отметка для I типа местности по увлажнению определяется из условия снегонезаносимости дороги.

Условие снегонезаносимости заключается в том, что отметка бровки насыпи должна быть не менее величины h_p, которую определяют по формуле

$$h_p = h_{\text{сн}} + \Delta h, \tag{4.1}$$

где $h_{\text{сн}}$ – расчетная толщина снежного покрова 5%-ой обеспеченности;

Δh – возвышение бровки насыпи над уровнем снежного покрова.

Расчет h_p выполняют используя данные СП 34.13330.2012 пункт 7.34.

$h_p = 0{,}5 + 0{,}5 = 1{,}00$ м.

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

$$h_I = h_p + i_{об} \cdot b_2 + i_{поп} \cdot \frac{b_1}{2}, \tag{4.2}$$

где b_1 – ширина покрытия (суммарная ширина проезжей части и 2 краевых полос обочины);

b_2 – ширина обочины за вычетом краевой полосы;

$i_{об}$ – поперечный уклон неукрепленной части обочины;

$i_{поп}$ – поперечный уклон проезжей части и краевой полосы.

Находим по формуле 5.2 руководящую отметку для I типа местности

$$h_I = 1 + 0{,}04 \cdot 1{,}5 + 0{,}02 \cdot \frac{7}{2} = 1{,}13 \text{ м},$$

4.2.2 Руководящая отметка для II 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.

При необеспеченном стоке кратковременно стоящих вод (не более 30 суток) руководящая отметка вычисляется по формуле

$$h_{II} = h_{1,н} + h_{пв} + i_{поп} \cdot \frac{b_1}{2}, \tag{4.3}$$

где $h_{пв}$ – толщина слоя воды над поверхностью земли.

Значения $h_{I,н}$ принимаются по СП 34.13330.2012 табл. 7.2, в зависимости от дорожно- климатической зоны и грунта рабочего слоя.

$$h_{II} = 1{,}2 + 0{,}2 + 0{,}02 \cdot \frac{7}{2} = 1{,}47 \text{ м.}$$

4.3 Назначение контрольных точек для проектной линии продольного профиля

Далее определим контрольные точки проектной линии. К ним относятся начало и конец трассы; минимальные отметки насыпи над трубами; отметки осей проезжих частей существующих автомобильных дорог на пересечениях в одном уровне с проектируемой дорогой.

Контрольная точка над трубой определяется по формуле

$$H = d + \Delta + \delta + h_{до}, \tag{4.4}$$

где d – диаметр трубы, м;

Δ – толщина засыпки над трубой, м;

δ – толщина стенки трубы, м;

$h_{до}$ – толщина дорожной одежды.

Определим минимальную отметку над трубой.

$$H = 1{,}5 + 0{,}5 + 0{,}14 + 0{,}60 = 2{,}74 \text{ м.}$$

Заполняем ведомость контрольных точек.

Таблица 4.1 – Ведомость контрольных точек

Наименование точки	ПК	+	Отметка, м
Начало трассы	0	00	204,27
Труба	8	00	188,87
	16	00	176,07
	40	00	185,21
	51	00	191,97
Автомобильная дорога	40	20	186,33
Конец трассы	61	71,5	176,71

4.4 Описание проектной линии

Проектная линия построена по методу тангенсов в основном по обертывающей в рекомендуемых рабочих отметках. Незначительные отклонения имеются на участках пересечения пониженных мест.

Радиусы выпуклых кривых составляют: 12000, 7000, 8000 и 10000 метров.

Радиусы вогнутых кривых составляют: 20000, 2500, 10000, 2000 и10000 метров. Продольные уклоны по всей длине трассы не превышают 50‰.

На всем протяжении проектная линия обеспечивает в продольном профиле видимость больше минимально допустимой.

5 Земляное полотно

5.1 Поперечные профили земляного полотна

Для отвода воды с проезжей части принимаем уклон 20‰, уклон обочин 40‰.

На проектируемой дороге присутствуют 3 вида поперечных профилей:

1) Тип 1 – насыпь высотой до 2 метров с кюветами, заложение откосов 1:3.

2) Тип 2 – насыпь высотой до 6 метров, заложение откосов 1:1,5.

6 Дорожные одежды

6.1 Выбор типа и конструкции дорожной одежды

Для данной автомобильной дороги проектируем дорожную одежду исходя из транспортно-эксплуатационных требований и категории проектируемой дороги, с учетом интенсивности движения и состава автотранспортных средств и требований, предъявляемых к дорожной одежде в отношении прочности, долговечности, морозоустойчивости.

Выбираем нежесткую дорожную одежду облегченного типа с усовершенствованным покрытием. Конструкцию принимаем из типовых проектов.

Таблица 6.1 – Вариант дорожной одежды №1

№	Наименование слоя	Высота слоя h, см	Расчет по упругому прогибу E, МПа	Расчет по условию сдвигоустойчивости E, МПа	Расчет на растяжение при изгибе			
					E, МПа	R_0, МПа	a	m
1	Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебёночной смеси типа Б, марка битума БНД 90/130	3	2400	1200	3600	9,5	5,4	5
2	Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из крупнозернистой щебёночной смеси, марка битума БНД 90/130	6	1400	800	2200	7,8	6,3	4
3	Щебень фракционированный 40…80 мм с заклинкой фракционированным мелким щебнем	11	450	450	-	-	-	-
4	Гравийная смесь с непрерывной гранулометрией С4 – 80 мм	40	230	230	-	-	-	-
5	Супесь пылеватая $W=0,67W_t$	-	51	51	-	-	-	-

Таблица 6.2 – Вариант дорожной одежды №2

№	Наименование слоя	Высота слоя h, см	Расчет по упругому прогибу E, МПа	Расчет по условию сдвигоустойчивости E, МПа	Расчет на растяжение при изгибе			
					E, МПа	R_0, МПа	a	m
1	Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебёночной смеси типа Б, марка битума БНД 90/130	4	2400	1200	3600	9,5	5,4	5
2	Чёрный щебень для оснований уложенный по способу заклинки	8	600	600				
3	Щебень фракционированный 40…80 мм с заклинкой фракционированным мелким щебнем	8	450	450	-	-	-	-
4	Гравийная смесь с непрерывной гранулометрией С3 – 120 мм	40	240	240	-	-	-	-
5	Супесь пылеватая W=0,67W_t	-	51	51	-	-	-	-

6.2 Алгоритм расчета дорожной одежды

Расчет проводим в следующей последовательности:

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

Для этого определяем величину приведенной интенсивности на последний год срока службы по формуле

$$N_p = f_{\text{пол}} \sum_{m=1}^{n} N_m S_{\text{тсум}}, \qquad (6.1)$$

где $f_{пол}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним;

n – общее число различных марок транспортных средств в составе транспортного потока;

N_m – число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств m-й марки;

$S_{тсум}$ – суммарный коэффициент приведения на дорожную одежду транспортного средства m-й марки к расчетной нагрузке.

Суммарное расчетное количество приложений расчетной нагрузки за срок службы рассчитывается по формуле

$$\sum N_p = 0{,}7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} T_{рдг} k_n, \qquad (6.2)$$

где N_p – величина приведенной интенсивности на последний год срока из формулы (7.1);

$K_с$ – коэффициент суммирования;

q – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам;

$T_{рдг}$ – расчетное число дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости конструкции;

$T_{сл}$ – расчетный срок службы;

k_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого.

Коэффициент суммирования определяем по формуле

$$K_с = \frac{q^{T_{сл}} - 1}{q - 1}, \qquad (6.3)$$

где $T_{сл}$ – то же, что в формуле (7.2);

q – то же, что в формуле (7.2).

2) Определяем минимальный требуемый общий модуль упругости по формуле

$$E_{min} = 98{,}65 \left(\left(lg \sum N_p \right) - C \right), \qquad (6.4)$$

где $\sum N_p$ – Суммарное расчетное количество приложений расчетной нагрузки за срок службы из формулы (7.2);

C – эмпирический параметр, принимаемый в зависимости от нагрузки на ось.

3) Расчет конструкции по допускаемому упругому прогибу ведется в такой последовательности:

а) Назначаем модули и предварительно толщины слоев конструкции.

б) Определяем требуемые модули на поверхности каждого конструктивного слоя по номограмме, выполняя расчет снизу вверх.

в) Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу и сравниваем его с требуемым минимальным коэффициентом.

Коэффициент прочности определяем по формуле

$$K_{\text{пр}} = \frac{E_{\text{общ}}}{E_{\text{тр}}}, \tag{6.5}$$

где $E_{\text{общ}}$ – общий расчетный модуль упругости конструкции;

$E_{\text{тр}}$ – минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции тз формулы (7.4).

4) Расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев:

а) Вычисляем модуль упругости верхнего слоя по формуле

$$E_{\text{в}} = \frac{(\sum_{i=1}^{n} E_i h_i)}{(\sum_{i=1}^{n} h_i)}, \tag{6.6}$$

где n – число слоев;

E_i – модуль упругости i-го слоя;

h_i – толщина i-го слоя.

б) Вычисляем действующие активные напряжения сдвига по формуле

$$T = \tau_{\text{н}} p, \tag{6.7}$$

где $\tau_{\text{н}}$ – удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки;

p – расчетное давление от колеса на покрытие.

в) Определяем предельное активное напряжение сдвига в грунте рабочего слоя по формуле

$$T_{\text{пр}} = c_N k_{\text{д}} + 0{,}1 g_{\text{ср}} z_{\text{оп}} tg j_{\text{ст}}, \tag{6.8}$$

где c_N – сцепление в грунте земляного полотна;

$k_д$ - коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания;

$z_{оп}$ – глубина расположения поверхностного слоя, проверяемого на сдвигоустойчивость, от верха конструкции;

$g_{ср}$ – средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя;

$j_{ст}$ – расчетная величина угла внутреннего трения материала проверяемого при статическом действии нагрузки.

г) Определяем коэффициент прочности и сравниваем его с требуемым минимальным коэффициентом. Коэффициент прочности определяется по формуле

$$K_{пр} = \frac{T_{пр}}{T}, \tag{6.9}$$

где $T_{пр}$ – предельное активное напряжение сдвига в грунте рабочего слоя по формуле (7.7);

T – действующие активные напряжения сдвига.

5) Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе. Расчет выполняем в следующем порядке:

а) Приводим конструкцию к двухслойной модели, где нижний слой – часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев.

Модуль упругости нижнего слоя определяем по номограмме, а модуль упругости верхнего слоя определяем по формуле (7.5).

б) Определяем расчетное растягивающее напряжение по формуле

$$\sigma_r = \sigma p k_в, \tag{6.10}$$

где σ – растягивающее напряжение от единичной нагрузки;

$k_в$ – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном;

p – то же, что в формуле (7.6).

в) Вычисляем предельное растягивающее напряжение по формуле

$$R_N = R_0 k_1 k_2 (1 - V_R t), \tag{6.11}$$

где R_0 – нормативное значение предельного сопротивления растяжению при изгибе при расчетной низкой весенней температуре при однократном приложении нагрузки;

k_1 – коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки;

k_2 – коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодно-климатических факторов;

V_R – коэффициент вариации прочности на растяжение;

t – коэффициент нормативного отклонения.

Коэффициент k_1 определяем по формуле

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}}, \tag{6.12}$$

где α – коэффициент, учитывающий различие в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузкой;

$\sum N_p$ – то же, что в формуле (7.4);

m – показатель степени, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя.

г) Определяем коэффициент прочности и сравниваем его с требуемым минимальным коэффициентом. Коэффициент прочности определяется по формуле

$$K_{\text{пр}} = \frac{R_N}{\sigma_r}, \tag{6.13}$$

где R_N – предельное растягивающее напряжение по формуле (7.10);

σ_r – расчетное растягивающее напряжение по формуле (7.9).

6) Проверка конструкции на морозоустойчивость. Эта проверка выполняется для определения величины морозного пучения.

Величину морозного пучения определяем по формуле

$$l_{\text{пуч}} = l_{\text{пуч ср}} K_{\text{УГВ}} K_{\text{пл}} K_{\text{гр}} K_{\text{нагр}} K_{\text{гл}}, \tag{6.14}$$

где $l_{\text{пуч ср}}$ – величина морозного пучения при осредненных условиях;

$K_{\text{УГВ}}$ – коэффициент, учитывающий влияние расчетной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод;

$K_{\text{пл}}$ – коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя;

$K_{\text{гр}}$ – коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки;

$K_{\text{нагр}}$ – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое;

$K_{гл}$ – коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта.

Величина морозного пучения при осредненных условиях определяем по фомруле

$$l_{пуч\ ср} = l_{пуч\ ср\ 2,0}\left(a + b\left(z_{пр} - c\right)\right), \quad (6.15)$$

где $l_{пуч\ ср\ 2,0}$ – величина морозного пучения при $z_{пр}$ = 2 м.;

$z_{пр}$ – глубина промерзания дорожной конструкции;

a, b, c – коэффициенты.

Глубину промерзания дорожной конструкции находим по формуле

$$z_{пр} = 1{,}38 z_{пр(ср)}, \quad (6.16)$$

где $z_{пр(ср)}$ – средняя глубина промерзания для данного района.

Затем сравниваем полученную величину морозного пучения с минимальной для данного типа покрытия.

6.3 Исходные данные и расчётная нагрузка

Исходные данные:

Тип дорожной одежды – облегченный

Заданная надежность – 0,9

Давление в шине p = 0,60 Мпа

Диаметр отпечатка шины D = 39 см

Статическая нагрузка на ось Q = 100 кН

1) Суммарное расчетное количество приложений расчетной нагрузки за срок службы.

Выполним расчет N_p используя данные пункта 1 и справочник [ОДН, табл. 3.2, прил. 1] для определения $f_{пол}$, и $S_{тсум}$.

$$N_p = 0{,}55 \cdot \left(497 \cdot 0 + 114 \cdot 0{,}005 + 79 \cdot 0{,}2 + 96 \cdot 0{,}7 + 53 \cdot 1{,}25 + 9 \cdot \right.$$
$$\left. \cdot\ 0{,}7 + 27 \cdot 1{,}5\right) = 108 \text{ авт./сут.}$$

Затем определяем величину $K_с$ используя справочник [ОДН, прил. 6, табл. П6.2] для определения q и $T_{сл}$.

$$K_с = \frac{1{,}046^{10} - 1}{1{,}046 - 1} = 12{,}35.$$

Далее выполняем расчет $\sum N_p$ используя справочник [ОДН, табл. 3.3, прил. 6] для определения $T_{рдг}$ и $k_п$.

$$\sum N_p = 0{,}7 \cdot 108 \cdot \frac{12{,}35}{1{,}047^{(10-1)}} \cdot 140 \cdot 1{,}26 = 108934 \text{ ед./сут.}$$

2) Минимальный требуемый общий модуль упругости.
Выполним расчет E_{min}.используя справочник [ОДН,] для определения С.

$$E_{min} = 98{,}65\left(\left(\lg \sum 108934\right) - 3{,}55\right) = 147 \text{ МПа.}$$

Полученный в расчёте общий модуль упругости оказался меньше требуемого, поэтому принимаем E_{min}=150 МПа по справочнику [ОДН, табл. 3.4].

6.4 Расчёт первого варианта дорожной одежды

3) Расчет конструкции по допускаемому упругому прогибу.
а) Данные приведены в таблице (6.1)
б) Данные заносим таблицу 6.3

Таблица 6.3 – расчетные характеристики материалов

№	Наименование слоя	Толщина слоя h, м	h/Д	E, МПа	$E_н/E_в$	$E_{об}/E$	$E_{об}$
1	Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебёночной смеси типа Б, марка битума БНД 90/130	0,03	0,08	2400	0,08	0,1	240
2	Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из крупнозернистой щебёночной смеси, марка битума БНД 90/130	0,06	0,15	1400	0,11	0,14	196
3	Щебень фракционированный 40…80 мм с заклинкой фракционированным мелким щебнем	0,11	0,28	450	0,26	0,34	153
4	Гравийная смесь с непрерывной гранулометрией С4 – 80 мм	0,4	1,03	230	0,22	0,53	122

Окончание таблицы 6.3

5	Супесь пылеватаяW=0,67W_t	-	-	51	-	-	51

Расчет ведем послойно, начиная с подстилающего грунта.

1. Гравийная смесь с непрерывной гранулометрией С4 – 80 мм

$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{гр}}}{E_{\text{пгс}}} = \frac{51}{230} = 0{,}22$$

$$\frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h_{\text{пгс}}}{D} = \frac{0{,}4}{0{,}39} = 1{,}03$$

По номограмме из справочника [ОДН, рис 3.1] находим $E_{\text{об}}/E$

$$\frac{E_{\text{пгс}}^{\text{общ}}}{E_{\text{пгс}}} = 0{,}53$$

С помощью отношения $E_{\text{об}}/E$ находим модуль упругости данного слоя.

$$E_{\text{пгс}}^{\text{общ}} = 0{,}53 \cdot 230 = 122 \text{ МПа}$$

2. Щебень фракционированный 40…80 мм с заклинкой фракционированным мелким щебнем

$$\frac{E_{\text{пгс}}}{E_{\text{щф}}} = \frac{115}{450} = 0{,}26$$

$$\frac{h_{\text{щф}}}{D} = \frac{0{,}11}{0{,}39} = 0{,}28$$

$$\frac{E_{\text{щф}}^{\text{общ}}}{E_{\text{щф}}} = 0{,}34$$

$$E_{\text{чщ}}^{\text{общ}} = 0{,}34 \cdot 450 = 153 \text{ МПа}$$

3. Асфальтобетон пористый

$$\frac{E_{\text{чщ}}}{E_{\text{а/б}}} = \frac{153}{1400} = 0{,}11$$

$$\frac{h_{а/б}}{D} = \frac{0{,}06}{0{,}39} = 0{,}15$$

$$\frac{E_{а/б}^{общ}}{E_{а/б}} = 0{,}14$$

$$E_{а/б}^{общ} = 0{,}14 \cdot 1400 = 196 \text{ МПа}$$

4. Асфальтобетон плотный

$$\frac{E_{чщ}}{E_{а/б}} = \frac{196}{2400} = 0{,}08$$

$$\frac{h_{а/б}}{D} = \frac{0{,}03}{0{,}39} = 0{,}08$$

$$\frac{E_{а/б}^{общ}}{E_{а/б}} = 0{,}1$$

$$E_{а/б}^{общ} = 0{,}1 \cdot 2400 = 240 \text{ Мпа}$$

в) Определяем коэффициент прочности $K_{пр}$.

$$K_{пр} = \frac{240}{150} = 1{,}6$$

Требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба определяем по справочнику [ОДН, табл. 3.1]. Принимаем $K_{пр}^{тр} = 1{,}10$. Выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу.

4) Расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев.

а) Выполняем расчет $E_в$ с использованием таблицы (6.1).

$$E_в = \frac{(1200 \cdot 0{,}03 + 800 \cdot 0{,}06 + 450 \cdot 0{,}11 + 230 \cdot 0{,}4)}{0{,}6} = 375{,}83 \text{ МПа}$$

б) Действующие активные напряжения сдвига.

Выполняем расчет T, используя справочник [ОДН, рис. 3.2, рис 3.3] для определения $\tau_н$.

$T = 0{,}024 \cdot 0{,}6 = 0{,}0144$ МПа

в) Предельное активное напряжение сдвига в грунте рабочего слоя.

Рассчитаем $T_{пр}$ используя справочник [ОДН, табл. П2.8, п. 3.35, табл. П2.4] для определения c_N, $k_д$, $j_{ст}$.

$T_{пр} = 0{,}006 \cdot 1 + 0{,}1 \cdot 0{,}0018 \cdot 60 \cdot \mathrm{tg}35{,}6° = 0{,}0137$ МПа

г) Определяем коэффициент прочности $K_{пр}$.

$$K_{пр} = \frac{0{,}0137}{0{,}0144} = 0{,}095$$

Требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию сдвигоустойчивости определяем по справочнику [ОДН, табл. 3.1]. Принимаем $K_{пр}^{тр} = 0{,}94$. Выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигоустойчивости.

5) Сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе.

а) Приводим конструкцию к двухслойной модели.

Нижний слой $E_н$.

$E_н = E_{щф}^{общ} = 153$ МПа

Верхний слой $E_в$.

$$E_в = \frac{(3600 \cdot 0{,}03 + 2200 \cdot 0{,}06)}{0{,}09} = 2667 \text{ МПа}$$

б) Расчетное растягивающее напряжение.

Вычисляем σ_r используя справочник [ОДН, рис. 3.4, п. 3.40] для определения σ, $k_в$.

$\sigma_r = 2{,}55 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}85 = 1{,}301$ МПа

в) Предельное растягивающее напряжение.

Сначала вычисляем k_1 используя данные формулы (7.2) и справочник [ОДН, табл. П.3.1] для определения α

$$k_1 = \frac{6{,}3}{\sqrt[4]{108934}} = 0{,}347$$

Вычисляем R_N используя справочник [ОДН, табл. П.3.1, прил. 4] для определения R_0, k_2, V_R, t.

$$R_N = 7{,}8 \cdot 0{,}347 \cdot 0{,}8 \cdot (1 - 0{,}1 \cdot 1{,}32) = 1{,}88 \text{ МПа}$$

г) Коэффициент прочности $K_{\text{пр}}$.

$$K_{\text{пр}} = \frac{1{,}88}{1{,}301} = 1{,}45$$

Требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию растягивающего напряжения определяем по справочнику [ОДН, табл. 3.1]. Принимаем $K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 0{,}94$. Выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности.

6) Морозоустойчивость.

Вычислим $z_{\text{пр}}$ используя данные пункта 2.3 для определения $z_{\text{пр(ср)}}$.

$$z_{\text{пр}} = 1{,}38 \cdot 2{,}5 = 3{,}45 \text{ м.}$$

Вычислим $l_{\text{пуч ср}}$ используя справочник [ОДН, п. 4.6, рис. 4.3] для определения a, b, c, $l_{\text{пуч ср 2,0}}$.

$$l_{\text{пуч ср}} = 0{,}09 \cdot \left(1{,}08 + 0{,}08(3{,}45 - 2{,}5)\right) = 0{,}104 \text{ м.}$$

Рассчитаем $l_{\text{пуч}}$ используя справочник [ОДН, рис. 4.1, табл. 4.4, табл. 4.5, табл. 4.6, рис 4.2] для определения $K_{\text{УГВ}}$, $K_{\text{пл}}$, $K_{\text{гр}}$, $K_{\text{нагр}}$, $K_{\text{гл}}$.

$$l_{\text{пуч}} = 10{,}4 \cdot 0{,}53 \cdot 0{,}8 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}72 \cdot 1{,}07 = 3{,}74 \text{ см.}$$

Допустимая величина пучения для облегченных асфальтобетонных покрытий 6 см. Значит дорожная одежда удовлетворяет требованиям морозоустойчивости.

6.5 Расчет второго варианта дорожной одежды

Таблица 6.4 – расчетные характеристики материалов

№	Наименование слоя	Толщина слоя h, м	h/Д	E, МПа	$E_н/E_в$	$E_{об}/E$	$E_{об}$
1	Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебёночной смеси типа Б, марка битума БНД 90/130	0,04	0,1	2400	0,08	0,11	272
2	Чёрный щебень для оснований уложенный по способу заклинки	0,08	0,21	600	0,25	0,3	180
3	Щебень фракционированный 40…80 мм с заклинкой фракционированным мелким щебнем	0,08	0,21	450	0,28	0,33	149
4	Гравийная смесь с непрерывной гранулометрией С3 – 120 мм	0,40	1,03	240	0,21	0,52	125
5	Супесь пылеватая $W=0,67W_t$	-	-	51	-	-	51

Расчет ведем послойно, начиная с подстилающего грунта.

1. Гравийная смесь с непрерывной гранулометрией С3 – 120 мм

$$\frac{E_н}{E_в} = \frac{E_{гр}}{E_{пгс}} = \frac{51}{240} = 0{,}21$$

$$\frac{h_в}{D} = \frac{h_{пгс}}{D} = \frac{0{,}4}{0{,}39} = 1{,}03$$

$$\frac{E_{пгс}^{общ}}{E_{пгс}} = 0{,}52$$

$$E_{пгс}^{общ} = 0{,}52 \cdot 240 = 125 \text{ МПа}$$

2. Щебень фракционированный 40…80 мм с заклинкой фракционированным мелким щебнем

$$\frac{E_{\text{пгс}}}{E_{\text{щф}}} = \frac{125}{450} = 0{,}28$$

$$\frac{h_{\text{щф}}}{D} = \frac{0{,}08}{0{,}39} = 0{,}21$$

$$\frac{E_{\text{щф}}^{\text{общ}}}{E_{\text{щф}}} = 0{,}32$$

$$E_{\text{щф}}^{\text{общ}} = 0{,}33 \cdot 450 = 149 \text{ МПа}$$

3. Чёрный щебень для оснований уложенный по способу заклинки

$$\frac{E_{\text{щф}}}{E_{\text{чщ}}} = \frac{149}{600} = 0{,}25$$

$$\frac{h_{\text{чщ}}}{D} = \frac{0{,}08}{0{,}39} = 0{,}21$$

$$\frac{E_{\text{чщ}}^{\text{общ}}}{E_{\text{чщ}}} = 0{,}3$$

$$E_{\text{а/б}}^{\text{общ}} = 0{,}3 \cdot 600 = 180 \text{ МПа}$$

4. Асфальтобетон плотный

$$\frac{E_{\text{чщ}}}{E_{\text{а/б}}} = \frac{180}{2400} = 0{,}08$$

$$\frac{h_{\text{а/б}}}{D} = \frac{0{,}04}{0{,}39} = 0{,}1$$

$$\frac{E_{\text{а/б}}^{\text{общ}}}{E_{\text{а/б}}} = 0{,}09$$

$$E_{\text{а/б}}^{\text{общ}} = 0{,}09 \cdot 2400 = 216 \text{ Мпа}$$

в) Определяем коэффициент прочности $K_{\text{пр}}$.

$$K_{\text{пр}} = \frac{216}{150} = 1{,}44$$

Требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба определяем по справочнику [ОДН, табл. 3.1]. Принимаем $K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1{,}1$. Выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу.

4) Расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев.

а) Выполняем расчет $E_{\text{в}}$ с использованием таблицы (7.1).

$$E_{в} = \frac{(1200 \cdot 0{,}04 + 600 \cdot 0{,}08 + 450 \cdot 0{,}08 + 240 \cdot 0{,}4)}{0{,}6} = 380 \text{ МПа}$$

б) Действующие активные напряжения сдвига.

Выполняем расчет T, используя справочник [ОДН, рис. 3.2, рис 3.3] для определения $\tau_{\text{н}}$.

$$T = 0{,}04 \cdot 0{,}6 = 0{,}024 \text{ МПа}$$

в) Предельное активное напряжение сдвига в грунте рабочего слоя.

Рассчитаем $T_{\text{пр}}$ используя справочник [ОДН, табл. П2.8, п. 3.35, табл. П2.4] для определения c_N, $k_{\text{д}}$, $j_{\text{ст}}$.

$$T_{\text{пр}} = 0{,}006 \cdot 1 + 0{,}1 \cdot 0{,}0018 \cdot 60 \cdot \text{tg}35{,}6° = 0{,}0137 \text{ МПа}$$

г) Определяем коэффициент прочности $K_{\text{пр}}$.

$$K_{\text{пр}} = \frac{0{,}024}{0{,}0137} = 1{,}76$$

Требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию сдвигоустойчивости определяем по справочнику [ОДН, табл. 3.1]. Принимаем $K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 0{,}94$. Выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигоустойчивости.

5) Сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе.

а) Приводим конструкцию к двухслойной модели.

Нижний слой $E_{\text{н}}$.

$$E_{\text{н}} = E_{\text{щ}}^{\text{общ}} = 180 \text{ МПа}$$

Верхний слой $E_в$.

$$E_в = \frac{(3600 \cdot 0{,}04)}{0{,}04} = 3600 \text{ МПа}$$

б) Расчетное растягивающее напряжение.

Вычисляем σ_r используя справочник [ОДН, рис. 3.4, п. 3.40] для определения σ, $k_в$.

$$\sigma_r = 2{,}9 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}85 = 1{,}48 \text{ МПа}$$

в) Предельное растягивающее напряжение.

Сначала вычисляем k_1 используя данные формулы (7.2) и справочник [ОДН, табл. П.3.1] для определения α

$$k_1 = \frac{5{,}4}{\sqrt[4]{108934}} = 0{,}297$$

Вычисляем R_N используя справочник [ОДН, табл. П.3.1, прил. 4] для определения R_0, k_2, V_R, t.

$$R_N = 9{,}5 \cdot 0{,}297 \cdot 0{,}8 \cdot (1 - 0{,}1 \cdot 1{,}32) = 1{,}959 \text{ МПа}$$

г) Коэффициент прочности $K_{пр}$.

$$K_{пр} = \frac{1{,}959}{1{,}48} = 1{,}32$$

Требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию растягивающего напряжения определяем по справочнику [ОДН, табл. 3.1]. Принимаем $K_{пр}^{тр} = 0{,}94$. Выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности.

6) Морозоустойчивость.

Вычислим $z_{пр}$ используя данные пункта 2.3 для определения $z_{пр(ср)}$.

$$z_{пр} = 1{,}38 \cdot 2{,}5 = 3{,}45 \text{ м.}$$

Вычислим $l_{пуч\ ср}$ используя справочник [ОДН, п. 4.6, рис. 4.3] для определения a, b, c, $l_{пуч\ ср\ 2{,}0}$.

$$l_{пуч\ ср} = 0{,}09 \cdot \left(1{,}08 + 0{,}08(3{,}45 - 2{,}5)\right) = 0{,}104 \text{ м.}$$

Рассчитаем $l_{пуч}$ используя справочник [ОДН, рис. 4.1, табл. 4.4, табл. 4.5, табл. 4.6, рис 4.2] для определения $K_{УГВ}$, $K_{пл}$, $K_{гр}$, $K_{нагр}$, $K_{гл}$.

$$l_{пуч} = 10{,}4 \cdot 0{,}53 \cdot 0{,}8 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}72 \cdot 1{,}07 = 3{,}74 \text{ см}.$$

Допустимая величина пучения для облегченных асфальтобетонных покрытий 6 см. Значит дорожная одежда удовлетворяет требованиям морозоустойчивости.

6.6 Сравнение вариантов дорожной одежды

Для сравнения вариантов дорожной одежды были составлены локальные сметы, которые приведены в приложении В.

В ходе сравнения сметная стоимость 1 варианта конструкции дорожной одежды, равная 12543,16 тыс. руб., оказалась меньше, чем 2 вариант, равный 12860,53 тыс. руб. Следовательно, наиболее выгоден 1 вариант конструкции дорожной одежды.

7 Решение вопросов водоотвода

7.1 Система поверхностного водоотвода. Параметры кюветов

Ширину кюветов принимаем равной 0,5 м. Глубина кюветов от 0,3 до 1 м. На поперечных профилях 1 типа заложение откосов 1:3, на поперечных профилях 2 типа заложение откосов 1:1,5. Кюветы с продольным профилем от 0 до 20‰ – без укрепления, от 20 до 30‰ – засев трав, от 30 до 50‰ – мощение, более 50‰ – бетонные лотки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе были закреплены приобретенные в процессе обучения знания и навыки в самостоятельном проектировании трассы дороги.

В ходе работы были запроектированы несколько вариантов трассы. По технико-экономическому показателям был выбран 2 вариант трассы, как наиболее выгоднейший.

Проектирование кривых в плане велось с учётом обеспечения видимости. Для соблюдения требований оптимальных условий движения, был найден минимальный радиус, который равен 675 м. Для трассы был выбран радиус 2000 м, как наиболее подходящий для данных условий.

Для выбранного варианта трассы запроектировано два варианта дорожной одежды и после экономического сравнения выбран менее затратный вариант.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция взамен СНиП 23-01-99*. Введ. с 01.01.2013. – Москва. Минстрой России, 2015.

2. Погода и климат Красноярского края [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.meteonova.ru/klimat/24/Krasnoyarsky%20Kray/

3. Климат Красноярска [Электронный ресурс]. Режим доступа: wikipedia.org/wiki/Климат_Красноярска

4.Красноярский край[Электронный ресурс]. Режим доступа: wikipedia.org/wiki/Красноярский_край

5. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*. Введ. с 01.06.2013. – Москва. Госстрой России, 2013.

6. Проектирование автомобильных дорог. Основы [Электронный ресурс]: учебное пособие / Жуков В.И., Гавриленко Т.В. – Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2014. – 144 с.

7. Селюков Д.Д. Расчёт радиусов круговых кривых в плане/Автомобильные дороги №6, 1973. – 29-30 с.

8. Трескинский С.А., Кудрявцев Г.П. «Эстетика автомобильных дорог» \\2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Транспорт, 1978 – 50 с.

9. Положение о государственной итоговой аттестации выпускников по программам бакалавриата, специалитета и магистратуры (ПВД ПГИАВ – 2016). Принято на заседании Ученого совета СФУ 25.01.2015 (протокол №1). – Красноярск, 2016.

10. СТО 4.2-07-2014 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Взамен СТО 4.2-07-2012; введ. 30.12.2013. – Красноярск: ИПК СФУ, 2014. – 60с.

11. ГОСТ Р 21.1101 – 2013 Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации. – Взамен ГОСТ Р 21.1101 – 2009; введ. с 11.06.2013. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 55с.

12. ГОСТ 21.701-2013 – Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог. Введ. с11.06.2013. – Москва: Стандартинформ, 2014.

13. ГОСТ 21.302-2013 Система проектной документации для строительства. Условные графические обозначения в документации по инженерно-геологическим изысканиям. Введ. с 14.03.2013. – Москва. Стандартинформ, 2015.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Ведомость углов поворота, прямых и кривых

Точка	Положение вершины угла			Величина углов поворота		Радиус, м	Элементы кривой, м						Положение переходных кривых								Расстояние между вершинами углов, м	Длина прямой, м
													начало		конец		конец		начало			
	км	ПК	+	влево	вправо		тангенс	тангенс	переходные кривые		круговая кривая	биссектрисса	ПК	+	ПК	+	ПК	+	ПК	+		
НТ	1	0	00																			
																					1490	1244,43
ВУ1	2	14	90	–	14°	2000	245,57	245,57	–	–	488,44	15,02	12	44,43	12	44,43	17	32,87	17	32,87		
																					3297,3	2553,07
ВУ2	5	47	87,3	28°	–	2000	498,66	498,66	–	–	976,89	61,23	42	88,64	42	88,64	52	65,53	52	65,53		
																					1384,2	885,54
КТ	7	61	71,5																			

Проверки:

$\Sigma S = L_{тр}$

1490+3297,3+1384,2=6171,5

$\Sigma К + \Sigma П = L_{тр}$

488,44+976,89+1244,43+2553,07+885,54=6171,5

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Ведомость отметок рельефа по оси дороги

Местоположение		Отметки земли, м	Вид точки
ПК	+		
0	00	202,00	Начало трассы
1	00	201,00	ПК1
2	00	198,00	ПК2
3	00	195,00	ПК3
3	20	194,40	Начало ВК
4	00	192,00	ПК4
5	00	190,00	ПК5
6	00	189,00	ПК6
6	80	188,20	Конец ВК
7	00	188,00	ПК7
8	00	186,00	ПК8
9	00	187,00	ПК9
10	00	186,00	ПК10
10	38	185,62	Начало ВК
11	00	185,00	ПК11
12	00	184,00	ПК12
13	00	181,00	ПК13
13	62	178,52	Конец ВК
14	00	177,00	ПК14
14	45	175,65	Начало ВК
15	00	174,00	ПК15
15	32,5	173,67	Вершина ВК
15	55	173,45	Конец ВК
16	00	173,00	ПК16
17	00	175,00	ПК17
18	00	177,00	ПК18
19	00	178,00	ПК19
19	35	178,35	Начало ВК
20	00	179,00	ПК20
21	00	180,00	ПК21
22	00	182,00	ПК22
22	65	185,25	Конец ВК
23	00	187,00	ПК23
24	00	192,00	ПК24
25	00	196,00	ПК25
26	00	200,00	ПК26
27	00	204,00	ПК27
27	92	207,68	Начало ВК
28	00	208,00	ПК28
29	00	210,00	ПК29
30	00	212,00	ПК30
30	85	213,70	Вершина ВК

Продолжение приложения Б

31	00	214,00	ПК31
32	00	212,00	ПК32
33	00	210,00	ПК33
34	00	207,00	ПК34
34	08	206,68	Конец ВК
35	00	203,00	ПК35
36	00	199,00	ПК36
37	00	194,00	ПК37
38	00	188,00	ПК38
38	62	184,90	Начало ВК
39	00	183,00	ПК39
39	54	181,92	Вершина ВК
40	00	181,00	ПК40
40	20	182,00	Дорога
40	38	182,90	Конец ВК
41	00	186,00	ПК41
42	00	192,00	ПК42
42	90	194,70	Начало ВК
43	00	195,00	ПК43
44	00	198,00	ПК44
45	00	202,00	ПК45
46	00	202,00	ПК46
46	26	202,00	Вершина ВК
47	00	202,00	ПК47
48	00	202,00	ПК48
49	00	198,00	ПК49
50	00	193,00	ПК50
50	10	192,60	Конец ВК
50	47	191,12	Начало ВК
51	00	189,00	ПК51
51	43	189,43	Вершина ВК
51	53	189,53	Конец ВК
52	00	190,00	ПК52
52	80	190,80	Начало ВК
53	00	191,00	ПК53
53	30	191,30	Вершина ВК
54	00	192,00	ПК54
55	00	189,00	ПК55
56	00	186,00	ПК56
56	20	185,60	Конец ВК
57	00	184,00	ПК57
58	00	182,00	ПК58
58	15	181,55	Начало ВК
59	00	179,00	ПК59
59	85	178,15	Конец ВК
60	00	178,00	ПК60
61	00	177,00	ПК61

Конец приложения Б

61	71,5	175,00	Конец трассы

ПРИЛОЖЕНИЕ В
Локальный сметный расчет №1

на устройство дорожной одежды для участка автомобильной дороги IV технической категории протяжённостью 6,1715км

Сметная стоимость, тыс. руб. 12543,16
Нормативная трудоемкость, тыс. чел. ч. 23,17
Сметная заработная плата, тыс. руб. 422,01

Составлена в ценах 2001 г. (руб.)

№ п/п	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат	Ед. изм.	Коли-чество, объем	Стоимость единицы, руб		Общая стоимость, руб			Трудоемкость, чел.ч	
					прямых затрат	Эксплуата-ции машин	прямых затрат	оплаты труда	зксплуатаци и машин	на едини цу	всего
					оплаты труда	в т.ч. оплаты труда			в т.ч. оплаты труда	строителей	
										машинистов	
1	2	3	3а	4	5	6	7	8	9	10	11
1	27-04-003-02 К=3,33333333	Устройство нижнего слоя основания из ПГС С4 толщиной 12 см	1000 $м^2$	81,80	3036,76	2771,52	828053,59	66396,77	755728,83	25,74	7018,70
					243,50	278,36			75902,28	18,93	5161,35
2	(408-9181)	Песчано-щебеночная смесь	1000 $м^2$	32721			5369876,13				
					164,11						

Продолжение приложения В

1	2	3	3а	4	5	6	7	8	9	10	11
2	(408-9181)	Песчано-щебеночная смесь	1000 м^2	32721	164,11		5369876,13				
3	27-04-006-02	Устройство верхнего слоя основания из фракционированного щебня толщиной 15 см	1000 м^2	49,99	29738,41	5982,76	1486593,38	17175,72	299072,19	36,63	1831,10
					343,59	629,41			31463,58	42,80	2139,52
4	27-04-006-04 К=-4	Изменение толщины слоя на -4 см	1000 м^2	-199,96	1709,94	300,13	-341912,76		-60012,79		
						33,13			-6624,54	2,25	-450,47
5	27-06-020-06	Устройство покрытия из горячих асфальтобетонных смесей пористых крупнозернистых 2,5-2,9 т/м3 и более толщиной 4 см	1000 м^2	43,20	43598,95	3006,47	1883474,64	18315,94	129879,50	38,30	1654,56
					423,98	288,47			12461,90	19,62	847,41
6	27-06-021-06 К=1,5	Изменение толщины горячего а/б покрытия на 0,5 см	1000 м^2	43,20	5035,00	5,42	326268,00	64,80	351,22	0,09	5,83
					1,00						
7	27-06-020-01	Устройство покрытия из горячих асфальтобетонных смесей плотных мелкозернистых 2,5-2,9 т/м3 и более толщиной 4 см	1000 м^2	43,20	45540,43	3015,10	1967346,58	18315,94	110171,75	38,30	1399,48
					423,98	288,92			10557,14	19,65	717,89
8	27-06-021-01 К=-0,25	Изменение толщины горячего а/б покрытия на 0,5 см	1000 м^2	43,20	5251,99	5,74	-56721,49	-10,80	-61,99	0,09	-0,97
					1,00						
9	МДС 81-35.2004	Итого прямых затрат					11462978,06	120258,36	1255209,28		12163,77
									125684,56		8546,55
10	МДС 81-35.2004	Поправка к заработной плате, 60%					147565,75	72155,02	75410,74		
11	МДС 81-35.2004	Итого прямых затрат с поправкой к заработной плате					11610543,81	192413,38	1330620,01		12163,77
									201095,29		8546,55
12	МДС 81-33.2004 прил. 4, пункт 21	Накладные расходы, 142%					558782,31				
13	МДС 81-35.2004	Сметная заработная плата рабочих, выполняющих работы, учитываемые накладными расходами, 5,1%						28497,90			

Продолжение приложения В

1	2	3	3а	4	5	6	7	8	9	10	11
14	МДС 81-35.2004	Нормативная трудоемкость рабочих, выполняющих работы, учитываемые накладными расходами, 0,0044%									2458,64
15		Себестоимость СМР					12169326,12				
12	МДС 81-33.2004 прил. 4, пункт 21	Накладные расходы, 142%					373833,24				
13	МДС 81-35.2004	Сметная заработная плата рабочих, выполняющих работы, учитываемые накладными расходами, 5,1%					12543159,36				
14	МДС 81-35.2004	Нормативная трудоемкость рабочих, выполняющих работы, учитываемые накладными расходами, 0,0044%									23168,97
15		Себестоимость СМР						422006,57			
16	МДС 81-25.2001 прил. 3, пункт 21	Сметная прибыль, 95%					373833,24				
17		Сметная стоимость					12543159,36				
16		Нормативная трудоемкость всего по смете									23168,97
17		Зарплата всего по смете						422006,57			

Продолжение приложения В

Локальный сметный расчет №2

на устройство дорожной одежды для участка автомобильной дороги IV технической категории протяжённостью 6,1715км

Сметная стоимость, тыс. руб.	12860,53
Нормативная трудоемкость, тыс. чел. ч.	24,36
Сметная заработная плата, тыс. руб.	438,13

Составлена в ценах 2001 г. (руб.)

№ п/п	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат	Ед. изм.	Коли-чество, объем	Стоимость единицы, руб		Общая стоимость, руб			Трудоемкость, чел.ч	
					прямых затрат	Эксплуата-ции машин	прямых затрат	оплаты труда	зксплуатации машин	на единицу	всего
					оплаты труда	в т.ч. оплаты труда			в т.ч. оплаты труда	строителей	
										машинистов	
1	2	3	3а	4	5	6	7	8	9	10	11
1	27-04-003-02 К=3,33333333	Устройство нижнего слоя основания из ПГС С4 толщиной 12 см	1000 $м^2$	81,80	3036,76	2771,52	828053,59	66396,77	755728,83	25,74	7018,70
					243,50	278,36			75902,28	18,93	5161,35
2	(408-9181)	Песчано-щебеночная смесь	1000 $м^2$	32721			5369876,13				
					164,11						

Продолжение приложения В

1	2	3	3а	4	5	6	7	8	9	10	11
3	27-04-006-02	Устройство верхнего слоя основания из фракционированного щебня толщиной 15 см	1000 $м^2$	50,99	29738,41	5982,76	1516421,00	17520,34	305072,90	36,63	1867,84
					343,59	629,41			32094,87	42,80	2182,45
4	27-04-006-04 К=-7	Изменение толщины слоя на 1 см	1000 $м^2$	50,99	1709,94	300,13	-610352,82		-107129,60		
						33,13			-11825,55	2,25	-804,14
5	27-06-018-01 К=1,33333333	Устройство верхнего слоя основания из черного щебня толщиной 6 см	1000 $м^2$	49,45	40459,44	3082,06	2667733,63	31910,39	203218,71	45,83	3021,85
					483,96	253,63			12542,51	17,25	852,89
6	27-06-020-01	Устройство покрытия из горячих асфальтобетонных смесей плотных мелкозернистых 2,5-2,9 т/м3 и более толщиной 4 см	1000 $м^2$	43,20	45540,43	3015,10	1967346,58	18315,94	130252,32	38,30	1654,56
					423,98	288,92			12481,34	19,65	848,73
7	27-06-021-01 К=0	Изменение толщины горячего а/б покрытия на 0,5 см	1000 $м^2$	43,20	5251,99	5,74	0	0	0	0,9	0
					1,00				0	0	0
8	МДС 81-35.2004	Итого прямых затрат					11739078,10	134143,43	1287143,16		13562,94
									121195,45		8241,29
9	МДС 81-35.2004	Поправка к заработной плате, 60%					153203,33	80486,06	72717,27		
10	МДС 81-35.2004	Итого прямых затрат с поправкой к заработной плате					11892281,43	214629,49	1359860,43		13562,94
									193912,72		8241,29
11	МДС 81-33.2004 прил. 4, пункт 21	Накладные расходы, 142%					580129,94				
12	МДС 81-35.2004	Сметная заработная плата рабочих, выполняющих работы, учитываемые накладными расходами, 5,1%						29586,63			
13	МДС 81-35.2004	Нормативная трудоемкость рабочих, выполняющих работы, учитываемые накладными расходами, 0,0044%									2552,57

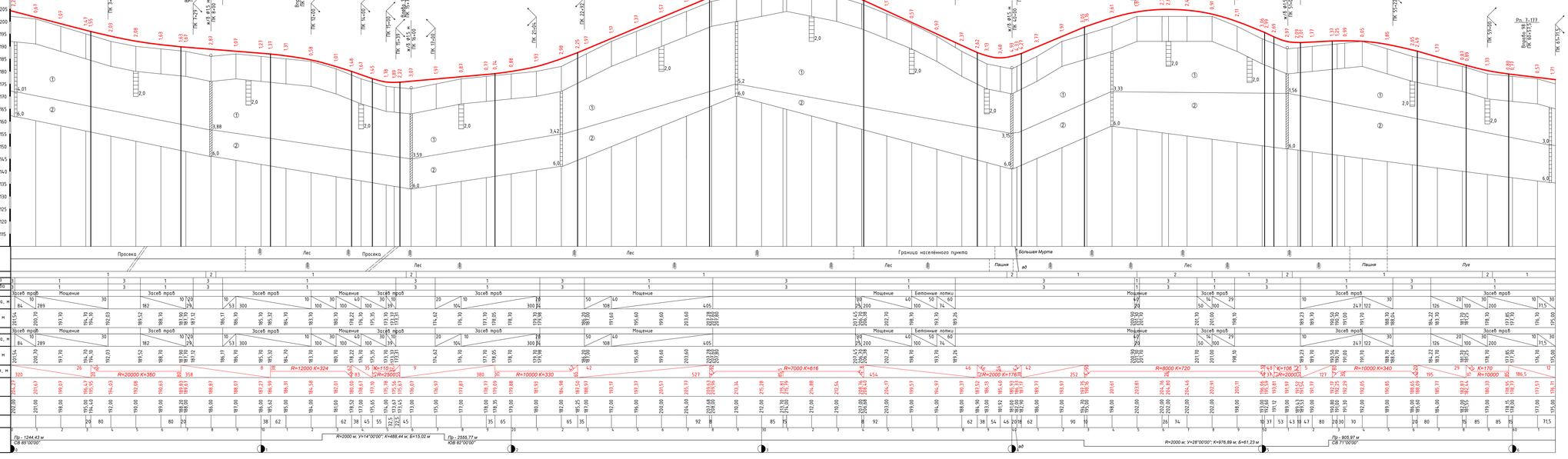
Окончание приложения В

1	2	3	3а	4	5	6	7	8	9	10	11
14		Себестоимость СМР					388115,10				
15	МДС 81-25.2001 прил. 3, пункт 21	Сметная прибыль, 95%					12860526,48				
17		Сметная стоимость									24356,80
16		Нормативная трудоемкость всего по смете						438128,84			
17		Зарплата всего по смете					388115,10				

Номер грунта	Группа грунта	Наименование грунта
1	IV	Супесь пылеватая
2	III	Глина

М 1:5000 - по горизонтали
М 1:500 - по вертикали
М 1:100 - по вертикали - кружеты

ЧГ 110



| | | |

Расчётная схема

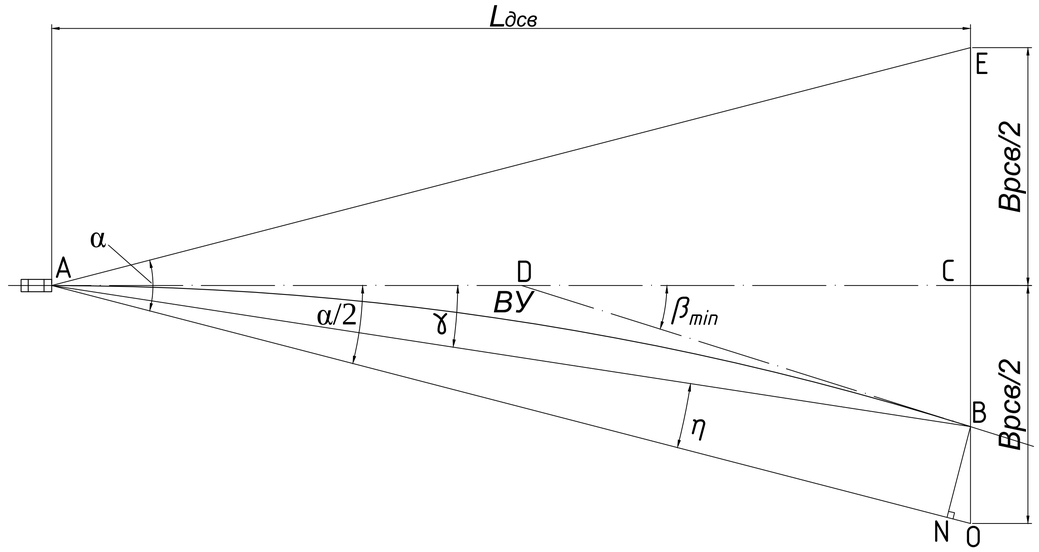


Схема 1 кривой R=2000 м

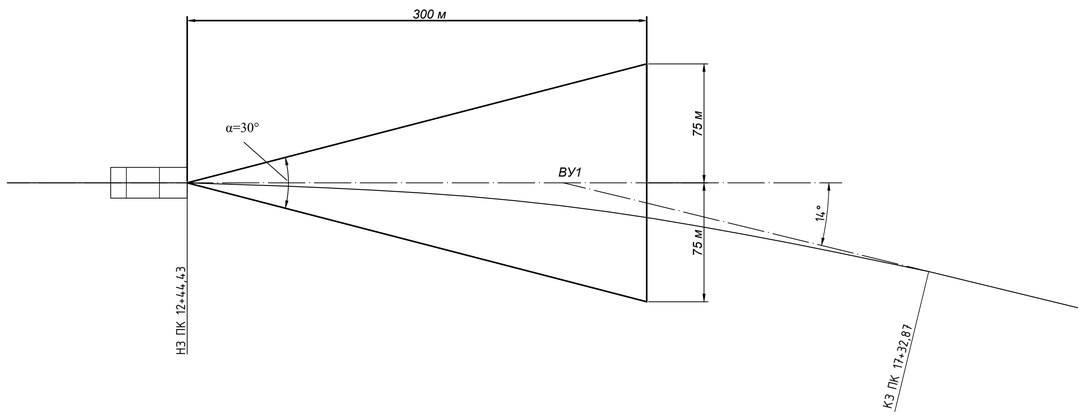
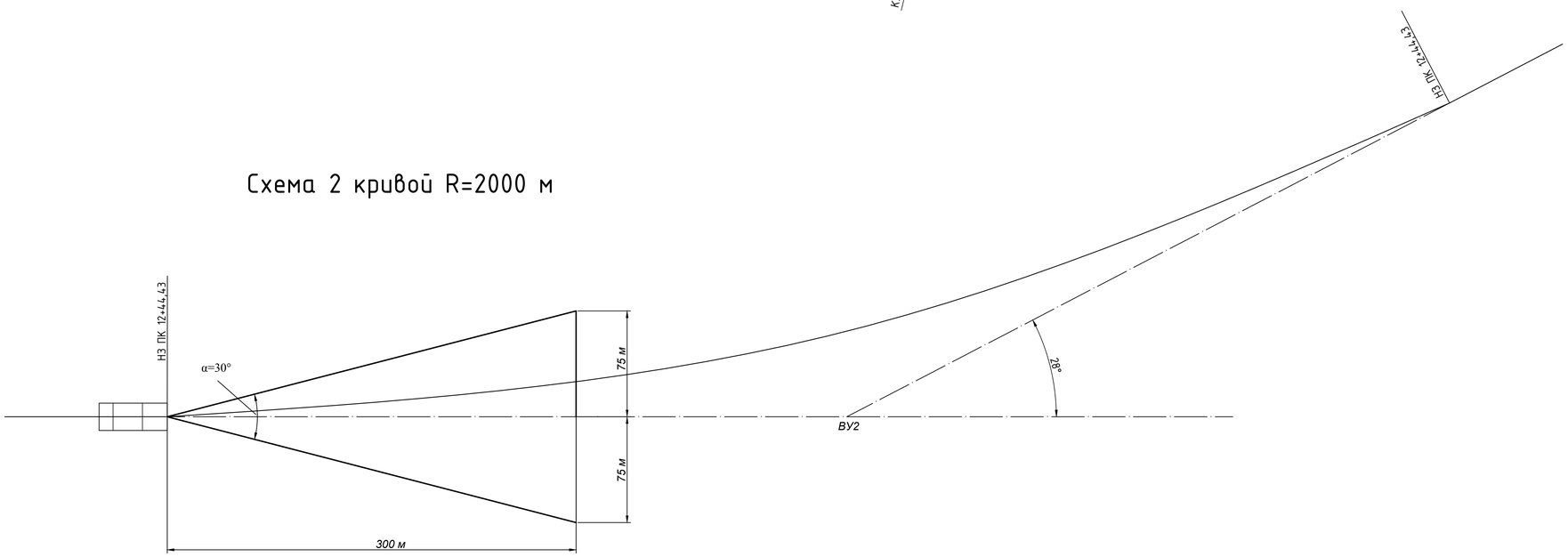


Схема 2 кривой R=2000 м



Алгоритм расчёта

Определим для момента, когда угол η имеет одной из сторон границу сосредоточенного внимания, как изображено схеме , предельно допустимое значение угла γ, позволяющее изменять направление оси дороги и минимальный радиус круговой кривой, при котором ось дороги не будет выходить из зоны сосредоточенного внимания водителя.

Величина наименьшего радиуса, при котором дорога на участке поворота видна в пределах рамки чёткой видимости, может быть найдена исходя из схемы.

Критическим является случай, когда граница угла сосредоточенного зрения является хордой, стягивающей кривую. Здесь радиус кривой будет:

$$R = \frac{AO}{2 \cdot \sin\gamma} = \frac{L_{\text{дсв}}}{\sin\beta},$$

Предельно допустимый угол поворота трассы β=2γ может быть найден из следующих соображений. Граница угла чёткой видимости водителем должна проходить от траектории движения автомобиля на расстоянии боковой видимости (отрезок *ON*), равном:

$$S_{\text{бок}} = \frac{S_a \cdot v_{\text{пеш}}}{v_{\text{авт}}} = \left(\frac{t_1 + t_2}{3{,}6} + \frac{v_{\text{авт}}}{27 \cdot j}\right) \cdot v_{\text{пеш}},$$

где t_1 – продолжительность реакции водителя, сек;

t_2 – запаздывание действия тормозного привода, сек;

j – отрицательное ускорение при торможении автомобиля, м/сек^2;

$v_{\text{авт}}$ – скорость автомобиля, км/ч;

$v_{\text{пеш}}$ – скорость пешехода, км/ч;

Граница угла чёткой видимости должна находиться от траектории движения автомобиля на расстоянии:

$$ON = S_{\text{бок}} + b,$$

где b – расстояние от оси зрения водителя до правой границы кузова автомобиля. Практически его можно принимать равным габариту автомобиля по ширине.

Из треугольника *OBN:*

$$OB = \frac{ON}{\cos\frac{\alpha}{2}} = \frac{S_{\text{бок}} + b}{\cos\frac{\alpha}{2}},$$

$$OC = CB - OB = L_{\text{дсв}} \cdot \tan\frac{\alpha}{2} - \frac{S_{\text{бок}} + b}{\cos\frac{\alpha}{2}}.$$

Из треугольника *OCA:*

$$\tan\gamma = \frac{OC}{AC} = \tan\frac{\alpha}{2} - \frac{S_{\text{бок}} + b}{L_{\text{дсв}} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}}$$

$$\gamma = \arctan\left(\tan\frac{\alpha}{2} - \frac{S_{\text{бок}} + b}{L_{\text{дсв}} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}}\right)$$

						ВКР-08.03.01.00.15-2016			
Изм.	Кол.уч	Лист	№Изм	Подп.	Дата	Сибирский Федеральный Университет Инженерно-строительный институт			
Разработал		Краснов				Проект участка автомобильной дороги с вписыванием кривых в плане оптимального радиуса	Стадия	Лист	Листов
Проверил		Габриленко					У	5	5
Утв.		Сербатинский				Схемы кривых в плане оптимального радиуса	кафедра АДиГС		
Нормоконтр		Федорова							