

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.В. Серватинский
«__» _____ 2021

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

08.03.01 «Строительство»
08.03.01.15 «Автомобильные дороги»

Проектирование автомобильной дороги в Ужурском районе

Руководитель _____ доцент, к.т.н. Т.В. Гавриленко

Выпускник _____ А.С. Михайлова

Красноярск 2021

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему «Проектирование автомобильной дороги в Ужурском районе» содержит 112 страниц текстового документа, 16 используемых источников и 6 листов графического материала.

Цель выпускной квалификационной работы: автоматизированное проектирование участка автомобильной дороги в Ужурском районе с помощью программного комплекса IndorCAD/Road, IndorDraw и IndorPavement.

В ходе выполнения работы был выполнен анализ природно-климатических показателей района проектирования, определена категория автомобильной дороги, создана цифровая модель местности, запроектированы два варианта автомобильной дороги, выполнена их комплексная оценка и технико-экономическое сравнение, в ходе которого был выбран безопасный и экономичный вариант. Далее были запроектированы варианты проектной линии продольного профиля дороги двумя методами: классическим (метод тангенсов) и сплайнов и выполнен их сравнительный анализ.

В результате была выбрана проектная линия продольного профиля, построенная методом тангенсов. Также запроектированы две конструкции нежестких дорожных одежд и выбрана экономически выгодная. Кроме того, были запроектированы поперечные профили.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение..... | 8 |
| 1 Природные условия района проектирования..... | 9 |
| 1.1 Климат..... | 9 |
| 1.2 Рельеф..... | 11 |
| 1.3 Растительность и почвы..... | 11 |
| 1.4 Инженерно-геологические условия..... | 12 |
| 1.5 Гидрологические условия..... | 12 |
| 1.6 Сведения о наличии дорожно-строительных материалов..... | 12 |
| 1.7 Заключение по природным условиям..... | 12 |
| 2 Обоснование технических нормативов дороги..... | 13 |
| 2.1 Определение категории дороги... .. | 13 |
| 2.2 Основные технические показатели автомобильной дороги..... | 14 |
| 3 Построение цифровой модели местности района проектирования.... | 15 |
| 4 Автоматизированное проектирование вариантов трассы..... | 16 |
| 4.1 Описание трассы по воздушной линии..... | 16 |
| 4.2 Описание 1-го варианта трассы..... | 16 |
| 4.3 Описание 2-го варианта трассы..... | 16 |
| 5 Построение чертежа упрощенного продольного профиля для альтернативных вариантов трассы..... | 17 |
| 5.1 Обоснование руководящих отметок..... | 17 |
| 5.2 Определение отметок рельефа по оси трассы..... | 20 |
| 5.3 Обоснование контрольных отметок..... | 23 |
| 5.3.1 Контрольные отметки проектной линии первого варианта трассы..... | 23 |
| 5.3.2 Контрольные отметки проектной линии второго варианта трассы..... | 24 |
| 5.4 Построение ломаного хода проектной линии..... | 25 |
| 6 Комплексная оценка безопасности движения на проектируемых вариантах дороги..... | 25 |
| 6.1 Расчет скоростей движения и оценка по графикам коэффициентов безопасности..... | 25 |
| 6.1.1 Алгоритм расчета..... | 25 |
| 6.1.2 Расчет скоростей движения и оценка по графикам коэффициентов безопасности для первого варианта трассы... .. | 27 |
| 6.1.3 Расчет скоростей движения и оценка по графикам коэффициентов безопасности для второго варианта трассы... .. | 33 |
| 6.2 Оценка безопасности движения по графикам коэффициентов аварийности..... | 38 |
| 6.2.1 Оценка для первого варианта трассы..... | 38 |
| 6.2.2 Оценка для второго варианта трассы..... | 43 |

| | |
|--|-----|
| 6.3 Оценка по пропускной способности и уровням загрузки..... | 47 |
| 6.3.1 Методика оценки..... | 47 |
| 6.3.2 Оценка по пропускной способности и уровням загрузки для первого варианта трассы..... | 48 |
| 6.3.3 Оценка по пропускной способностям и уровням загрузки для второго варианта трассы..... | 50 |
| 6.4 Техничко-экономическое сравнение вариантов трассы..... | 52 |
| 7 Проектирование водопропускной трубы..... | 65 |
| 7.1 Определение расчетного максимального расхода воды..... | 65 |
| 7.2 Расчет отверстия трубы..... | 72 |
| 7.3 Назначение технических параметров трубы..... | 73 |
| 8 Автоматизированное проектирование продольного профиля дороги..... | 81 |
| 8.1 Определение контрольных точек проектной линии..... | 81 |
| 8.2 Построение проектной линии классическим методом..... | 82 |
| 8.3 Построение проектной линии методом кубических сплайнов..... | 83 |
| 8.4 Сравнительный анализ вариантов проектной линии..... | 83 |
| 8.5 Построение грунтового разреза по трассе..... | 83 |
| 9 Проектирование нежестких дорожных одежд..... | 84 |
| 9.1 Определение расчетной осевой нагрузки..... | 84 |
| 9.2 Характеристики материалов слоев дорожной одежды..... | 87 |
| 9.3 Расчет на прочность по критерию упругого прогиба..... | 88 |
| 9.4 Расчет на прочность по критерию сдвига в малосвязных грунтах..... | 90 |
| 9.5 Расчет на прочность по критерию изгиба монолитных слоев..... | 93 |
| 9.6 Расчет на морозостойчивость..... | 96 |
| 10 Поперечные профили дороги..... | 97 |
| Заключение..... | 99 |
| Список используемых источников..... | 100 |
| Приложение А Ведомость реперов для привязки трассы..... | 101 |
| Приложение Б Ведомость геологических скважин..... | 102 |
| Приложение В Краткий отчет о расчете дорожных одежд из программы IndorPavement (вариант 1)..... | 103 |
| Приложение Г Краткий отчет о расчете дорожных одежд из программы IndorPavement (вариант 2)..... | 105 |
| Приложение Д Ведомость площадей полос отвода..... | 107 |
| Приложение Е Ведомость объемов земляных работ..... | 110 |
| Графическая часть проекта | |
| 1 Варианты трассы, природные условия | |
| 2 Комплексная оценка безопасности 1 варианта | |
| 3 Комплексная оценка безопасности 2 варианта | |
| 4 Продольный профиль дороги | |

5 Поперечные профили дороги
6 Дорожные одежды

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных проблем в нашей стране является недостаточно качественное проектирование и строительство автомобильных дорог. Так как автомобильные дороги являются технически сложными сооружениями, то перед началом проектирования необходимо проанализировать различные факторы, которые могут повлиять на дальнейшую эксплуатацию.

Автомобильные дороги должны обладать превосходными транспортно-эксплуатационными характеристиками, обеспечивать высокую безопасность движения и при всем этом возводиться с минимальными денежными затратами и материалоемкостью.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование участка автомобильной дороги в Ужурском районе Красноярского края. Оригинальностью работы является самостоятельное создание цифровой модели местности и выполнение работы в программе IndorCAD. Деталью работы является проектирование линии продольного профиля методом сплайна. Достоинствами данного метода являются лучшее согласование дороги с рельефом и минимизация объемов земляных работ. Тем самым повышается качество проекта автомобильной дороги.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ природно-климатических условий района проектирования;
- по исходной интенсивности движения определить категорию автомобильной дороги;
- разработать два варианта трассы;
- выполнить комплексную оценку безопасности движения обоих вариантов трассы;
- провести технико-экономическое сравнение вариантов трассы и выбрать наиболее благоприятный;
- выполнить проектирование продольного профиля различными методами;
- выполнить гидравлический расчет водопропускной трубы;
- рассчитать и запроектировать две конструкции дорожной одежды, а затем выбрать наиболее выгодный путем экономического сравнения;
- выполнить проектирование поперечных профилей.

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе выполнена в соответствии с требованиями СТО 4.2-07-2014 «Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности» [1].

1 Природные условия района проектирования

1.1 Климат

В качестве места проектирования автомобильной дороги был выбран Ужурский район. Климатические характеристики приводятся по данным местной метеорологической станции и [2, табл. 3.1, 4.1].

Дорожно-климатическая зона – третья, принимается по карте дорожно-климатического районирования из [3].

Климат Ужурского района – резко континентальный. Зимы здесь холодные и продолжительные, лето – жаркое, но короткое. Кроме того, району характерна быстрая смена температуры воздуха [4].

Климатические данные, необходимые в проектировании, приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Ведомость климатических показателей

| Показатель | | Величина |
|--|---------------------------|----------|
| Абсолютная температура воздуха, °С | минимальная | -60 |
| | максимальная | 37 |
| Средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки вероятностью превышения, °С | 0,98 | -40 |
| | 0,92 | -36 |
| Преобладающее направление ветра за | декабрь-февраль | ЮЗ |
| | июнь-август | ЮЗ |
| Среднемесячная относительная влажность воздуха, % | наиболее холодного месяца | 74 |
| | наиболее теплого месяца | 68 |
| Количество осадков за, мм | ноябрь-март | 102 |
| | апрель-октябрь | 344 |
| Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с | | 4,7 |
| Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, м/с | | 2,7 |

Далее строится роза ветров, которая позволяет по длине лучей построенного многоугольника выявить направление преобладающего ветра, со стороны которого чаще приходит поток воздуха в данную местность. Данные для построения розы ветров условно берутся с метеостанции города Ужура.

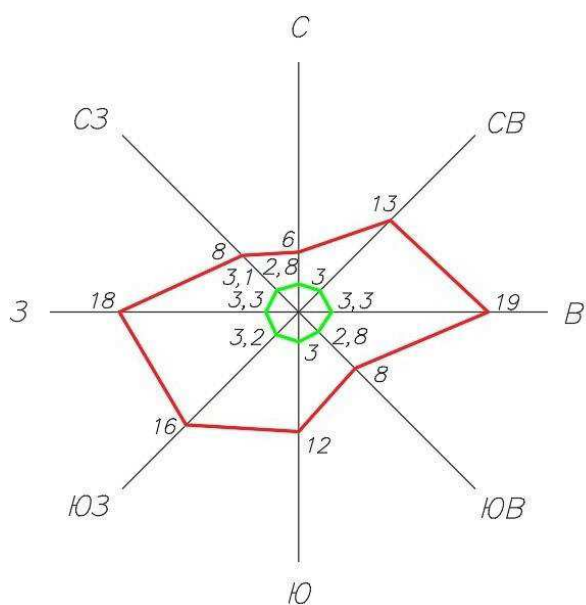
Таблица 1.2 – Повторяемость и скорость ветра за июль

| Направление ветра | С | СВ | В | ЮВ | Ю | ЮЗ | З | СЗ |
|-------------------|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| Повторяемость, % | 6 | 13 | 19 | 8 | 12 | 16 | 18 | 8 |
| Скорость, м/с | 2,8 | 3 | 3,3 | 2,8 | 3 | 3,2 | 3,3 | 3,1 |

Таблица 1.3 – Повторяемость и скорость ветра за январь

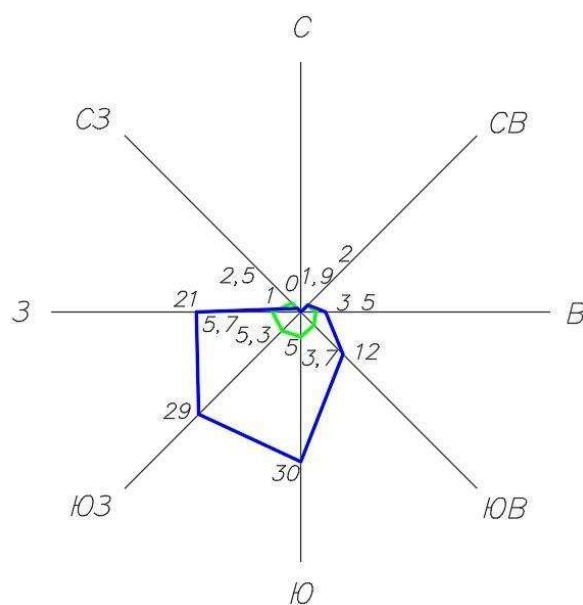
| Направление ветра | С | СВ | В | ЮВ | Ю | ЮЗ | З | СЗ |
|-------------------|---|-----|---|-----|----|-----|-----|-----|
| Повторяемость, % | 0 | 2 | 5 | 12 | 30 | 29 | 21 | 1 |
| Скорость, м/с | - | 1,9 | 3 | 3,7 | 5 | 5,3 | 5,7 | 2,5 |

По приведенным выше данным строим розы ветров.



Красная линия – повторяемость, %
Зеленая линия – скорость, м/с

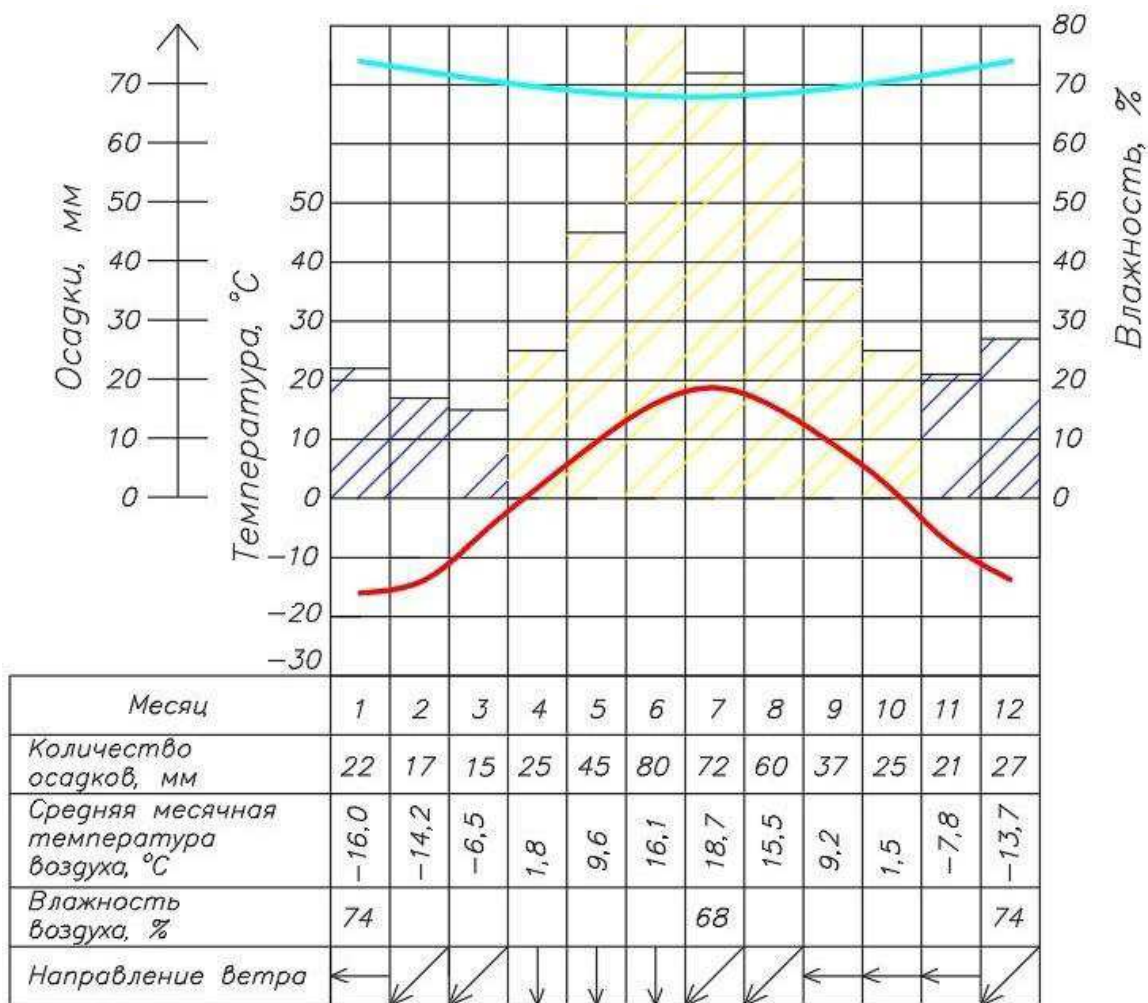
Рисунок 1.1 – Роза ветров (июль)



Синяя линия – повторяемость, %
Зеленая линия – скорость, м/с

Рисунок 1.2 – Роза ветров (январь)

Переходим к построению дорожно-климатического графика. Строим его на основании данных о среднемесечной температуре воздуха, осадках, влажности и направлении ветра.



Голубая линия – влажность, %
 Красная линия – температура, °С
 Синяя штриховка – снеговой покров, мм
 Желтая штриховка – осадки в виде дождя, мм

Рисунок 1.3 – Дорожно-климатический график

1.2 Рельеф

Город Ужур расположен в южной части лесостепной Назаровской котловины в месте, где образуется всхолмленная равнина между западными отрогами Кузнецкого Алатау и Солгонским кряжем. Степь, просторы, близость невысоких гор, поля, луга, пастбища – все это создает своеобразный рельеф города. В 40 км от районного центра в котловине овальной формы лежит целебное озеро Учум, которое окружено холмистыми степями и горами [5].

1.3 Растительность и почвы

Почвы Ужурского района представлены в основном плодородными обыкновенными черноземами. Благодаря данной характеристике, в Ужуре высоко

развито сельскохозяйственное производство, которое является ведущей отраслью города. Также в районе на берегах местных озер (Учум, Ашпан, Солбат) встречаются смешанные солончаки, солонцы и солонцеватые почвы.

Растительность представлена березняками, лиственными и осиновыми лесами, злаковыми и болотными растениями [6].

1.4 Инженерно-геологические условия

На территории района расположены месторождения бурого угля, такие как Сухореченский и Ушканский участки, присутствуют глины и суглинки, торф, медь, свинец, а также строительные пески, песчано-гравийные материалы, карбонатные породы, строительные камни [5].

1.5 Гидрологические условия

Гидрология Ужурского района представлена богатством рек, таких как Ужурка, Чернавка, Чулым, Изыкчуль, Солгон, Серез, Агата, Черемшанка, Кузурба, и озер – Учум, Солбат, Ашпан, Кызыл-Куль, Кедровое и другие.

Воды рек имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав. Они минерализуются в период половодья, которое весной длится около двух месяцев. Озеро Учум содержит воды повышенной минерализации, благодаря чему на берегу озера функционирует оздоровительный курорт.

Кроме того, в отношении гидрографии район характеризуется наличием грунтовых и подземных вод. Грунтовые воды вскрываются на пологих склонах речных долин [7].

1.6 Сведения о наличии дорожно-строительных материалов

В Ужурском районе имеются все необходимые дорожно-строительные материалы. Залежи строительных камней, карбонатных горных пород, песчано-гравийных материалов, глин и суглинков позволяют использовать только представленные здесь ресурсы, не прибегая к транспортировке из других районов.

1.7 Заключение по природным условиям

Информация, приведенная выше, позволяет оценить условия проектирования будущей автомобильной дороги. Заполняем таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Природные условия, учитываемые при расчете проектных показателей дороги

| Наименование показателя | Ед. изм. | Величина |
|---|----------|----------|
| 1 Дорожно-климатическая зона | - | III |
| 2 Средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки вероятностью превышения 0,92 | °C | -36 |

Окончание таблицы 1.4

| Наименование показателя | Ед. изм. | Величина |
|---|----------|---------------------------|
| 3 Расчетная толщина снегового покрова обеспеченностью 5% | м | 0,57 |
| 4 Глубина кратковременно (не более 30 суток) стоящих поверхностных вод, учитываемая при вычислении руководящей отметки на участках, относящихся ко второму типу местности по увлажнению | м | 0,1 |
| 5 Глубина длительно (более 30 суток) стоящих поверхностных вод, учитываемая при вычислении руководящей отметки на участках, относящихся к третьему типу местности по увлажнению | м | 0,15 |
| 6 Глубина до уровня высоко стоящих грунтовых вод, учитываемая при вычислении руководящей отметки на участках, относящихся к третьему типу местности по увлажнению | м | 0,4 |
| 7 Грунт земляного полотна | - | суглинок легкий пылеватый |
| 8 Средняя глубина промерзания грунтов | м | 2,2 |

Проанализировав природные условия района проектирования, можем сделать вывод, что район пригоден для строительства автомобильной дороги. Он имеет оптимальный температурный режим, равнинный рельеф, необходимые дорожно-строительные материалы.

2 Обоснование технических нормативов дороги

2.1 Определение категории дороги и расчетной скорости движения автомобилей

Категория проектируемой дороги на обходе города Ужур устанавливается по [3]. Ее назначают по расчетной интенсивности движения, которая измеряется в приведенных к легковому автомобилю единицах в сутки. Расчетной интенсивностью является перспективная интенсивность движения. Она определяется по формуле:

$$N = N_{\text{исх}} \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right)^t, \quad (2.1)$$

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

P – ежегодный прирост, %;

t – перспективный период, равный 20 годам.

Данные для расчета перспективной интенсивности движения по формуле (2.1) берутся из задания на выпускную квалификационную работу.

$$N = 580 \cdot \left(1 + \frac{3,7}{100}\right)^{20} = 1200 \frac{\text{авт.}}{\text{сут}}$$

Далее необходимо привести поток транспортных средств к потоку, состоящему только из легковых автомобилей. Для этого воспользуемся специальными коэффициентами приведения из [3]. Затем определяем исходную интенсивность каждого типа автомобиля по формуле:

$$N_i = N \cdot \frac{P_i}{100}, \quad (2.2)$$

где N – перспективная интенсивность, $\frac{\text{авт.}}{\text{сут}}$;

P_i – процент автомобилей каждого типа (из исходных данных).

Далее вычисляют исходную интенсивность движения, измеряемую в приведенных легковых автомобилях:

$$N_{\text{расч}} = \sum_{m=1}^M N_m \cdot K_m, \quad (2.3)$$

где K_m – коэффициент приведения для m – го транспортного средства соответственно;

M – количество типов транспортных средств в потоке.

Ведем расчет в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Расчет перспективной интенсивности движения в приведенных единицах

| m | Вид транспортного средства | % в потоке | $N_m, \frac{\text{авт.}}{\text{сут}}$ | K_m | $N_m \cdot K_m \frac{\text{прив.л.авт.}}{\text{сут}}$ |
|--------|-------------------------------------|------------|---------------------------------------|-------|---|
| 1 | Легковые | 59 | 708 | 1 | 708 |
| 2 | Грузовые с нагрузкой на ось: до 2 т | 12 | 144 | 1,3 | 187 |
| 3 | - от 2 до 6 т | 7 | 84 | 1,4 | 118 |
| 4 | - от 6 до 8 т | 11 | 132 | 1,6 | 211 |
| 5 | - от 8 до 14 т | 5 | 60 | 1,8 | 108 |
| 6 | Автопоезда: до 12 т | 3 | 36 | 1,8 | 65 |
| 7 | - от 12 до 20 т | 1 | 12 | 2,2 | 26 |
| 8 | Автобусы большой вместимости | 2 | 24 | 3 | 72 |
| Итого: | | 100 | 1200 | - | 1495 |

В ходе расчета получаем, что $N_{\text{расч}} = 1495 \frac{\text{прив.л.авт.}}{\text{сут}}$. В соответствии с этим значением и [3] категория автомобильной дороги IV.

2.2 Основные технические показатели автомобильной дороги

Определив категорию дороги, заполняем таблицу 2.2 об основных ее показателях, пользуясь [3].

Таблица 2.2 – Основные технические показатели автомобильной дороги

| Наименование показателя | Единица измерения | Величина показателя |
|---|---|---------------------|
| 1 Категория дороги | - | IV |
| 2 Перспективная интенсивность движения | $\frac{\text{авт.}}{\text{сут}}$ | 1200 |
| 3 Расчетная интенсивность движения | $\frac{\text{прив. л. авт.}}{\text{сут}}$ | 1495 |
| 4 Расчетная скорость движения | $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$ | 80 |
| 5 Расчетная скорость движения на трудных участках | $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$ | 60 |
| 6 Число полос движения | шт | 2 |
| 7 Ширина полосы движения | м | 3 |
| 8 Ширина проезжей части | м | 6 |
| 9 Ширина обочин | м | 2 |
| 10 Ширина краевой полосы | м | 0,5 |
| 11 Ширина земляного полотна без ограждений | м | 10 |
| 12 Ширина укрепленной части обочин | м | 1 |
| 13 Поперечный уклон проезжей части и краевой полосы в зависимости от дорожно-климатической зоны (при а/б покрытии) | ‰ | 20 |
| 14 Поперечный уклон обочины за пределами краевой полосы | ‰ | 40 |
| 15 Наименьшие радиусы кривых в плане | м | 300 |
| 16 Наименьшие радиусы кривых в плане на трудных участках | м | 150 |
| 17 Наибольший продольный уклон | ‰ | 60 |
| 18 Допускаемый наибольший продольный уклон на трудных участках | ‰ | 70 |
| 19 Наименьшие радиусы выпуклых кривых в продольном профиле | м | 5000 |
| 20 Наименьше радиусы выпуклых кривых, допускаемые на трудных участках | м | 2500 |
| 21 Наименьшие радиусы вогнутых кривых продольного профиля | м | 2000 |
| 22 Расчетные расстояния видимости в продольном профиле: - для остановки - для встречного автомобиля - при обгоне | м | 150 250 600 |

Следующим этапом является создание цифровой модели местности и проектирование вариантов трассы в программе IndorCAD.

3 Построение цифровой модели местности района проектирования

Следующим этапом является создание цифровой модели местности и проектирование вариантов трассы в программе IndorCAD. Программа позволяет по имеющимся в свободном доступе цифровым картографическим материалам (интернет-картам) построить триангуляционную модель рельефа для заданного района проектирования. Алгоритм построения заключался в следующем.

На первом этапе на стационарный компьютер была скачана интернет-карта района проектирования, находящаяся в свободном доступе. Затем она была подгружена в программу IndorCAD и настроена проекция в местной системе координат. Из всей большой интернет-карты был выбран район, в пределах которого требовалось построить альтернативные варианты трассы. Программа рассматривает его как «дополнительную зону», внутри которой строит триангуляционную модель рельефа. С заданным шагом триангуляции программа считывает расположение точек в местной системе координат и соответствующие им высотные отметки местности.

Далее по заданным координатам строились ситуационные объекты (зеленые насаждения, здания и одиночные объекты, проходящие рядом трассы и другое).

4 Автоматизированное проектирование вариантов трассы

4.1 Описание трассы по воздушной линии

Трасса, запроектированная по воздушной линии, соединяет контрольную точку начала трассы (координаты $X = 761604$ м, $Y = 3884540$ м) и контрольную точку конца трассы (координаты $X = 763760$ м, $Y = 3888870$ м). Румб направления трассы – СВ $63^{\circ}31'49''$. Он равен азимуту в I четверти. С ПК 16+70 по ПК18+60 трасса пересекает небольшой поселок. Длина варианта трассирования по воздушной линии составляет $L_{в.л.} = 4837$ м. Трассирование по воздушной линии невозможно по причине пересечения поселка. Трасса обозначена на топографическом плане оранжевым цветом. Привязка трасс осуществляется с помощью временных реперов. Их ведомость представлена в приложении А.

4.2 Описание 1-го варианта трассы

На топографическом плане вариант трассы обозначен красным цветом. Трасса проложена тангенциальным методом. Она имеет 3 угла поворота. Первый угол поворота на ПК 16+62 принят с целью предотвращения пересечения фруктового сада. Второй угол поворота на ПК28+72 принят с целью избежать проектирования трассы через лесной массив. Третий угол поворота на ПК38+96 принят с целью прихода трассы в конечную точку. Наибольший продольный уклон составляет 46‰. Длина первого варианта трассы составляет 5037,60 м.

4.3 Описание 2-го варианта трассы

На топографическом плане второй вариант трассы обозначен темно-синим цветом. Трасса также проложена методом тангенсов. Она имеет 2 угла поворота, первый угол на ПК20+04 принят с целью обхода фруктовых садов. Вторым углом на ПК20+10 принят с целью обхода поселка и прихода трассы в конечную точку. Наибольший продольный уклон составляет 89‰. Длина второго варианта трассы составляет 4951 м.

5 Построение чертежа упрощенного продольного профиля для альтернативных вариантов трассы

5.1 Обоснование руководящих отметок

Перед тем как начать построение проектной линии продольного профиля необходимо определить руководящие отметки и контрольные точки. Руководящие отметки необходимы для того, чтобы установить оптимальную высоту насыпи, которая, в свою очередь, обеспечит нормальные условия эксплуатации земляного полотна. Она определяется с учетом дорожно-климатической зоны, категории автомобильной дороги, вида грунта рабочего слоя, типа местности по характеру увлажнения и условиям снегонезаносимости. В связи с тем, что тип местности по условиям увлажнения меняется вдоль трассы, руководящих отметок будет несколько.

Для первого типа местности руководящая отметка определяется исходя из того, что отметка бровки земляного полотна должна быть не менее величины h_p , которая определяется по формуле:

$$h_p = h_{сн} + \Delta h, \quad (5.1)$$

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

Δh – возвышение бровки земляного полотна над уровнем снежного покрова, зависящее от категории дороги.

Возвышение бровки насыпи над уровнем снежного покрова определяется по таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Возвышение бровки земляного полотна над уровнем снежного покрова

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

Согласно таблице 5.1, Δh составляет 0,5 м. Тогда величина h_p равна:

$$h_p = 0,57 + 0,5 = 1,07 \text{ м.}$$

Руководящая отметка для первого типа местности определяется по формуле:

$$h_l = h_p + i_{об} \cdot b_2 + i_{поп} \cdot \frac{b_1}{2}, \quad (5.2)$$

где b_1 – ширина покрытия, м;

b_2 – ширина обочины за вычетом краевой полосы, м;

$i_{об}$ – поперечный уклон неукрепленной части обочины, 40‰;
 $i_{поп}$ – поперечный уклон проезжей части и краевой полосы, 20‰.
Руководящая отметка для первого типа местности равна:

$$h_I = 1,07 + 0,04 \cdot 1,5 + 0,02 \cdot \frac{7}{2} = 1,2 \text{ м.}$$

Руководящая отметка для второго типа местности определяется от верха покрытия дорожной одежды до поверхности земли или до уровня поверхностных вод. Считается, что поверхностный сток воды не обеспечен и вода стоит не более 30 суток.

Если поверхностный сток воды от поверхности земли не обеспечен, то руководящая отметка вычисляется по формуле:

$$h_{II} = h_{1,н} + i_{поп} \cdot \frac{b_1}{2}, \quad (5.3)$$

где $h_{1,н}$ – возвышение поверхности покрытия дорожной одежды над поверхностью земли, м [3];

$i_{поп}$ – поперечный уклон проезжей части, 20‰;

b_1 – ширина покрытия (суммарная ширина проезжей части и двух краевых полос обочины).

Возвышение поверхности покрытия дорожной одежды над поверхностью земли определяется по [3; табл. 7.2]. Для III дорожно-климатической зоны и суглинка пылеватого оно составляет 1,8 м.

Тогда руководящая отметка для второго типа местности равна:

$$h_{II} = 1,8 + 0,02 \cdot \frac{7}{2} = 1,87 \text{ м.}$$

Если поверхностный сток кратковременно стоящих вод (не более 30 суток) не обеспечен, то руководящая отметка вычисляется по формуле:

$$h_{II} = h_{пв} + h_{1,н} + i_{поп} \cdot \frac{b_1}{2}, \quad (5.4)$$

где $h_{пв}$ – толщина слоя воды над поверхностью земли, м;

$h_{1,н}$ – возвышение поверхности покрытия дорожной одежды над поверхностью земли, м [3];

$i_{поп}$ – поперечный уклон проезжей части, 20‰;

b_1 – ширина покрытия (суммарная ширина проезжей части и двух краевых полос обочины).

Руководящая отметка для второго типа местности при необеспеченном стоке кратковременно стоящих вод равна:

$$h_{II} = 0,35 + 1,4 + 0,02 \cdot \frac{7}{2} = 1,82 \text{ м.}$$

Руководящая отметка для третьего типа местности определяется от верха покрытия дорожной одежды до уровня грунтовых вод или поверхностных вод, стоящих более 30 суток.

При необеспеченном стоке вод, стоящих более 30 суток, руководящая отметка определяется по формуле:

$$h_{III} = h_{пв} + h_{2,н} + i_{поп} \cdot \frac{b_1}{2}, \quad (5.5)$$

где $h_{2,н}$ – возвышение поверхности покрытия дорожной одежды над уровнем поверхностных вод, м [3];

$h_{пв}$ – толщина слоя воды над поверхностью земли, м;

$i_{поп}$ – поперечный уклон проезжей части, 20‰;

b_1 – ширина покрытия (суммарная ширина проезжей части и двух краевых полос обочины).

Руководящая отметка для третьего типа местности равна:

$$h_{III} = 0,42 + 1,8 + 0,02 \cdot \frac{7}{2} = 2,29 \text{ м.}$$

Если есть участки с высоко стоящими грунтовыми водами, то руководящая отметка вычисляется по формуле:

$$h_{III} = h_{2,н} - h_{гв} + i_{поп} \cdot \frac{b_1}{2}, \quad (5.6)$$

где $h_{гв}$ – расстояние от поверхности земли до уровня грунтовых вод, принимается равным 0,2 м;

$h_{2,н}$ – возвышение поверхности покрытия дорожной одежды над уровнем поверхностных вод, м [3];

$i_{поп}$ – поперечный уклон проезжей части, 20‰;

b_1 – ширина покрытия (суммарная ширина проезжей части и двух краевых полос обочины).

Руководящая отметка в случае высокого стояния грунтовых вод равна:

$$h_{III} = 1,8 - 0,2 + 0,02 \cdot \frac{7}{2} = 1,67 \text{ м.}$$

5.2 Определение отметок рельефа по оси трассы

Для построения продольного профиля поверхности земли необходимо знать ее отметки на пикетах и плюсовых точках по оси дороги. Отметки рельефа первого варианта трассы представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Ведомость отметок рельефа по оси первого варианта трассы

| Местоположение точки | | Отметка земли, м | Вид точки |
|----------------------|----|------------------|-------------------------|
| ПК | + | | |
| 0 | 00 | 360,30 | Начало трассы |
| 1 | 00 | 360,59 | ПК |
| 2 | 00 | 360,10 | ПК |
| 3 | 00 | 358,13 | ПК |
| 4 | 00 | 358,82 | ПК |
| 5 | 00 | 359,93 | ПК |
| 6 | 00 | 359,28 | ПК |
| 7 | 00 | 358,75 | ПК |
| 8 | 00 | 357,51 | ПК |
| 9 | 00 | 357,55 | ПК |
| 10 | 00 | 357,54 | ПК |
| 11 | 00 | 357,63 | Труба |
| 12 | 00 | 366,12 | ПК |
| 13 | 00 | 371,12 | ПК |
| 14 | 00 | 373,51 | ПК |
| 14 | 84 | 377,05 | Начало закругления |
| 15 | 00 | 378,42 | ПК |
| 15 | 84 | 383,11 | ПК |
| 16 | 00 | 383,97 | ПК |
| 17 | 00 | 390,94 | ПК |
| 17 | 26 | 393,01 | Конец круговой кривой |
| 18 | 00 | 394,81 | ПК |
| 18 | 46 | 396,21 | Конец закругления |
| 19 | 00 | 398,32 | ПК |
| 20 | 00 | 401,45 | ПК |
| 21 | 00 | 406,28 | ПК |
| 22 | 00 | 409,92 | ПК |
| 22 | 87 | 415,07 | Переход насыпи в выемку |
| 23 | 00 | 415,93 | ПК |
| 24 | 00 | 429,62 | ПК |
| 25 | 00 | 425,97 | ПК |
| 25 | 58 | 426,72 | Начало закругления |
| 26 | 00 | 426,65 | ПК |
| 26 | 78 | 426,88 | Начало круговой кривой |
| 27 | 00 | 427,02 | ПК |
| 27 | 73 | 427,62 | Переход выемки в насыпь |
| 28 | 00 | 427,78 | ПК |
| 29 | 00 | 428,97 | ПК |
| 30 | 00 | 430,52 | ПК |
| 30 | 56 | 429,75 | Конец круговой кривой |

Окончание таблицы 5.2

| Местоположение точки | | Отметка земли, м | Вид точки |
|----------------------|----|------------------|-------------------------|
| ПК | + | | |
| 31 | 00 | 430,87 | ПК |
| 31 | 76 | 431,41 | Конец закругления |
| 32 | 00 | 431,76 | ПК |
| 33 | 00 | 431,55 | ПК |
| 33 | 83 | 432,79 | Переход насыпи в выемку |
| 34 | 00 | 433,27 | ПК |
| 35 | 00 | 432,32 | ПК |
| 35 | 23 | 431,95 | Переход выемки в насыпь |
| 36 | 00 | 431,17 | ПК |
| 37 | 00 | 429,18 | ПК |
| 37 | 41 | 429,54 | Начало закругления |
| 38 | 00 | 429,65 | ПК |
| 38 | 61 | 428,49 | Начало круговой кривой |
| 39 | 00 | 428,13 | ПК |
| 39 | 30 | 427,93 | Конец круговой кривой |
| 40 | 00 | 426,63 | ПК |
| 40 | 50 | 425,61 | Конец закругления |
| 41 | 00 | 423,72 | ПК |
| 42 | 00 | 422,83 | ПК |
| 43 | 00 | 422,02 | ПК |
| 44 | 00 | 420,58 | ПК |
| 45 | 00 | 419,44 | ПК |
| 46 | 00 | 417,67 | ПК |
| 47 | 00 | 415,09 | ПК |
| 48 | 00 | 415,71 | ПК |
| 49 | 00 | 417,09 | ПК |
| 50 | 00 | 417,83 | ПК |
| 50 | 38 | 418,00 | Конец трассы |

Отметки рельефа второго варианта трассы представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Ведомость отметок рельефа по оси второго варианта трассы

| Местоположение точки | | Отметка земли, м | Вид точки |
|----------------------|----|------------------|-------------------------|
| ПК | + | | |
| 0 | 00 | 360,30 | Начало трассы |
| 1 | 00 | 361,89 | ПК |
| 2 | 00 | 359,72 | ПК |
| 3 | 00 | 358,80 | ПК |
| 4 | 00 | 359,50 | ПК |
| 5 | 00 | 357,83 | ПК |
| 6 | 00 | 355,95 | Труба |
| 7 | 00 | 356,38 | ПК |
| 8 | 00 | 357,82 | ПК |
| 9 | 00 | 363,39 | ПК |
| 10 | 00 | 368,85 | ПК |
| 10 | 87 | 374,94 | Переход насыпи в выемку |
| 11 | 00 | 375,97 | ПК |

Продолжение таблицы 5.3

| Местоположение точки | | Отметка земли, м | Вид точки |
|----------------------|----|------------------|-------------------------|
| ПК | + | | |
| 12 | 00 | 382,25 | ПК |
| 13 | 00 | 389,13 | ПК |
| 14 | 00 | 394,87 | ПК |
| 15 | 00 | 397,63 | ПК |
| 15 | 50 | 398,43 | Переход выемки в насыпь |
| 16 | 00 | 399,53 | ПК |
| 16 | 88 | 403,32 | Начало закругления |
| 17 | 00 | 403,75 | ПК |
| 18 | 00 | 409,18 | ПК |
| 18 | 08 | 409,83 | Начало круговой кривой |
| 18 | 20 | 410,93 | Переход насыпи в выемку |
| 19 | 00 | 416,84 | ПК |
| 20 | 00 | 421,77 | ПК |
| 21 | 00 | 425,32 | ПК |
| 21 | 83 | 428,00 | Конец круговой кривой |
| 22 | 00 | 428,46 | ПК |
| 23 | 00 | 432,04 | ПК |
| 23 | 03 | 432,16 | Конец закругления |
| 23 | 44 | 433,63 | Переход выемки в насыпь |
| 24 | 00 | 435,15 | ПК |
| 25 | 00 | 437,44 | ПК |
| 25 | 33 | 437,95 | Начало закругления |
| 26 | 00 | 439,09 | ПК |
| 26 | 53 | 441,94 | Начало круговой кривой |
| 26 | 72 | 443,43 | Переход насыпи в выемку |
| 27 | 00 | 445,92 | ПК |
| 28 | 00 | 451,12 | ПК |
| 29 | 00 | 451,64 | ПК |
| 29 | 50 | 450,25 | Конец круговой кривой |
| 29 | 67 | 449,82 | Переход выемки в насыпь |
| 30 | 00 | 448,69 | ПК |
| 30 | 70 | 448,04 | Конец закругления |
| 31 | 00 | 447,99 | ПК |
| 32 | 00 | 446,97 | ПК |
| 33 | 00 | 446,57 | ПК |
| 34 | 00 | 442,52 | ПК |
| 35 | 00 | 439,99 | ПК |
| 36 | 00 | 436,42 | ПК |
| 37 | 00 | 433,67 | ПК |
| 38 | 00 | 431,19 | ПК |
| 39 | 00 | 429,27 | ПК |
| 40 | 00 | 426,00 | ПК |
| 41 | 00 | 424,55 | ПК |
| 42 | 00 | 422,66 | ПК |
| 43 | 00 | 421,18 | ПК |
| 44 | 00 | 420,41 | ПК |
| 45 | 00 | 418,46 | ПК |

Окончание таблицы 5.3

| Местоположение точки | | Отметка земли, м | Вид точки |
|----------------------|----|------------------|--------------|
| ПК | + | | ПК |
| 46 | 00 | 416,09 | ПК |
| 47 | 00 | 415,83 | ПК |
| 48 | 00 | 417,00 | ПК |
| 49 | 00 | 417,68 | ПК |
| 49 | 51 | 418,00 | Конец трассы |

5.3 Обоснование контрольных отметок

5.3.1 Контрольные отметки проектной линии первого варианта трассы

Определим контрольные точки проектной линии в начале и в конце трассы. Это такие точки, через которые проектная линия продольного профиля обязана пройти. Принимаем эти отметки в соответствии с руководящими и определяем по формулам:

$$H_{нт} = H_{з,нт} + h_1, \quad (5.7)$$

$$H_{кт} = H_{з,кт} + h_1, \quad (5.8)$$

где $H_{з,нт}$ и $H_{з,кт}$ – отметки земли в начале и в конце трассы соответственно;
 h_1 – руководящая отметка для первого типа местности по увлажнению.

Отметка в начале трассы:

$$H_{нт} = 360,30 + 1,2 = 361,50 \text{ м.}$$

Отметка в конце трассы:

$$H_{кт} = 418,00 + 1,2 = 419,20 \text{ м.}$$

Определим контрольную точку проектной линии над трубой. Минимально допустимые отметки над трубами являются контрольными точками, которые ограничивают положение проектной линии снизу. В случае безнапорного течения воды в трубах минимальная высота насыпи в створе трубы определяются по формуле:

$$h_n = d + \delta + \Delta + h_{до}, \quad (5.9)$$

где d – диаметр трубы, м;

δ – толщина стенки трубы, м;

Δ – толщина засыпки над трубой, м;

$h_{до}$ – толщина монолитных слоев конструкции дорожной одежды, м.

Толщина засыпки над трубой принимается равной 0,5 м, считая от верха звена трубы до низа дорожной одежды. Толщина слоев дорожной одежды принимается для IV категории дороги равной 0,45 м. Толщина стенки железобетонной трубы равна 0,16 м.

$$h_n = 2 + 0,16 + 0,5 + 0,45 = 3,11 \text{ м.}$$

Определяем контрольную отметку над трубой по формуле:

$$H_{тр} = H_{з,тр} + h_n, \quad (5.10)$$

где $H_{з,тр}$ – отметка рельефа в створе трубы, м.

$$H_{тр} = 357,63 + 3,11 = 360,74 \text{ м.}$$

Помещаем все найденные отметки в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Ведомость контрольных точек первого варианта трассы

| № точки | Название точки | Пикет | Отметка, м | | Положение проектной линии |
|---------|----------------|-------|------------|-----------------|---------------------------|
| | | | рельефа | проектной линии | |
| 1 | начало трассы | 0+00 | 360,30 | 361,50 | проходит через точку |
| 2 | труба | 11+00 | 357,63 | 360,74 | не ниже точки |
| 3 | конец трассы | 50+38 | 418,00 | 419,20 | проходит через точку |

5.3.2 Контрольные отметки проектной линии второго варианта трассы

Аналогично расчету контрольных отметок для первого варианта трассы находим отметки для второго. Найденные отметки помещаем в таблицу 5.5.

Отметка в начале трассы:

$$H_{нт} = 360,30 + 1,2 = 361,50 \text{ м.}$$

Отметка в конце трассы:

$$H_{кт} = 418,00 + 1,2 = 419,20 \text{ м.}$$

Минимальная высота насыпи над трубой:

$$h_n = 2 + 0,16 + 0,5 + 0,45 = 3,11 \text{ м.}$$

Контрольная отметка над трубой:

$$H_{\text{тр}} = 355,95 + 3,11 = 359,06 \text{ м.}$$

Таблица 5.5 – Ведомость контрольных точек второго варианта трассы

| № точки | Название точки | Пикет | Отметка, м | | Положение проектной линии |
|---------|----------------|-------|------------|-----------------|---------------------------|
| | | | рельефа | проектной линии | |
| 1 | начало трассы | 0+00 | 360,30 | 361,50 | проходит через точку |
| 2 | труба | 6+00 | 355,95 | 359,06 | не ниже точки |
| 3 | конец трассы | 49+51 | 418,00 | 419,20 | проходит через точку |

5.4 Построение ломаного хода проектной линии

При нанесении проектной линии руководствуются правилами:

- для комфортного проезда по автомобильной дороге рекомендуется задавать продольный уклон, не превышающий 30%, но иногда условия рельефа не дают выдержать данное требование, поэтому допускается принимать уклоны, не превышающие максимальных для данной категории дороги и максимальных уклонов на трудных участках местности;

- недопустим пилообразный профиль;

- объем земляных работ должен быть сведен к минимуму;

- необходимо обеспечить беспрепятственный отвод поверхностной воды от земляного полотна, для этого уклоны проектной линии в местах выемок должны составлять не менее 5‰, а длины выемок – не более 500 м;

- участки проектной линии, проходящие по мосту или путепроводу, должны иметь уклон не менее 5‰ и не более 30‰;

- длины выпуклых вертикальных кривых должны быть не менее 300 м, а вогнутых – не менее 100 м.

Проектная линия строится двумя способами: по обертывающей и по секущей. Первый применяется в условиях равнинного рельефа на дорогах низкой категории, а второй – в условиях холмистого и сильно пересеченного рельефа. При этом соблюдается примерный баланс земляных работ. Проектирование линии вторым методом дает плавный продольный профиль.

6 Комплексная оценка безопасности движения на проектируемых вариантах дороги

6.1 Расчет скоростей движения и оценка по графикам коэффициентов безопасности

6.1.1 Алгоритм расчета

На стадии проектирования автомобильной дороги для того, чтобы оценить транспортно-эксплуатационные качества, необходимо установить скорость движения по дороге в среднем и на отдельных участках. Оценка выполняется по методу Бельского.

В основу расчета положено уравнение движения автомобиля:

$$D = f \pm i \mp \frac{x}{R} + \frac{\delta}{g} \cdot \frac{dV}{dt}, \quad (6.1)$$

где f – коэффициент сопротивления качению;

i – продольный уклон;

x – расстояние от назначенного начала координат до точки, в которой определяется движение, м;

R – радиус вертикальной кривой, м;

δ – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс автомобиля;

g – ускорение свободного падения (9,81 м/с²);

D – динамический фактор;

V – скорость движения автомобиля, м/с;

$\frac{dV}{dt}$ – ускорение.

Проинтегрировав уравнение (6.1), получаем выражение для нахождения скорости:

$$V = \sqrt{(V_0^2 \pm z) \cdot e^{-2nx} \pm mx \pm z}, \quad (6.2)$$

где V_0 – скорость, принятая в начальной точке вертикальной кривой $x = 0$ м;

z – параметр, зависящий от типа автомобиля и дорожного сопротивления.

Параметр z определяется по формуле:

$$z = \frac{m}{2n} \pm \frac{1}{b} \cdot (a - G \cdot (f \pm i)), \quad (6.3)$$

где G – вес автомобиля;

a и b – параметры, характеризующие тип автомобиля и передачу, на которой осуществляется движение;

m и n определяются по формулам (6.4) и (6.5)

$$m = \frac{G}{b \cdot R}, \quad (6.4)$$

$$n = \frac{b \cdot g}{\delta \cdot G} \quad (6.5)$$

При движении по прямолинейному участку вертикального профиля формула (6.2) имеет вид:

$$V = \sqrt{(V_0^2 - L) \cdot e^{-2nx} + L}, \quad (6.6)$$

где L – параметр, принимаемый по [10, приложение 1, табл. 1] или вычисляется по формуле:

$$L = \frac{1}{b} \cdot (a - G \cdot (f + i)). \quad (6.7)$$

Алгоритм расчета скорости движения:

- назначают исходные данные (автомобиль, начальная скорость, начальная передача, соответствующая расчетной скорости, и тип покрытия);
- выделяются характерные участки на продольном профиле (с нулевым уклоном и участки подъемов и спусков, в пределах которых уклон постоянный);
- вводится относительная система координат;
- вычисляется скорость по формуле (6.6);
- проверяется возможность движения автомобиля на соответствующей передаче;
- находится точка переключения с одной передачи на другую;
- при расчётах скоростей не принимаются во внимание местные ограничения, накладываемые ПДД;
- строятся графики для обоих направлений движения.

Коэффициент безопасности – это отношение минимальной скорости движения, которая обеспечивается тем или иным участком дороги, к максимально возможной скорости въезда автомобилей на этот участок. Определяется по формуле:

$$K_{\text{без}} = \frac{V_{\min}}{V_{\max}}, \quad (6.8)$$

где V_{\min} и V_{\max} соответственно минимальная и максимальная скорость движения, км/ч.

Чем меньше коэффициент безопасности, тем более вероятны дорожные происшествия. В проектах новых дорог недопустимы участки со значениями коэффициента менее 0,8.

6.1.2 Расчет скоростей движения и оценка по графикам коэффициентов безопасности для первого варианта трассы

Назначаем исходные данные: дорога IV категории; расчетный автомобиль ЗИЛ-130, вес $G = 8495$ кг. Тип покрытия: асфальтобетонное покрытие в хорошем состоянии, $f = 0,018$. При новом строительстве в качестве начальной скорости принимается расчетная скорость в соответствии с таблицей 6.1.

Таблица 6.1 – Начальная скорость движения и начальная передача

| Автомобиль | Начальная скорость движения, км/ч | Начальная передача |
|------------|-----------------------------------|--------------------|
| ГАЗ-24 | 80 | III-IV |
| | 100 | IV |

Окончание таблицы 6.1

| Автомобиль | Начальная скорость движения, км/ч | Начальная передача |
|------------|-----------------------------------|--------------------|
| ГАЗ-24 | 120 | IV |
| ЗИЛ-130 | 80 | V |

В таблице 6.2 приведена скоростная передача и соответствующие ей параметры.

Таблица 6.2 – Передача и соответствующие ей параметры

| Передача | V , км/ч | a | b | n |
|----------|------------|------|-------|--------|
| I | 10 | 3170 | 51,83 | 0,015 |
| II | 20 | 1749 | 8,93 | 0,005 |
| III | 40 | 974 | 1,776 | 0,002 |
| IV | 60 | 626 | 0,677 | 0,0007 |
| V | 80 | 416 | 0,397 | 0,0004 |

Расчет проводится с помощью программы Microsoft Excel. Он приведен в таблице 6.3.

Далее по формуле (6.8) строится график коэффициентов безопасности.

Эпюры скоростей и график коэффициентов безопасности для первого варианта трассы приведены на листе номер 2 графической части выпускной квалификационной работы.

Таблица 6.3 – Расчет скоростей движения для первого варианта трассы

| № | Начальная скорость, м/с | Расстояние, м | Уклон | Передача и соответствующие ей параметры | | | | e^{-2nx} | L | V , м/с | V , км/ч | Примечание | Искусственное снижение скорости до 80 км/ч |
|--------------------|-------------------------|---------------|--------|---|-----|-------|--------|------------|---------|-----------|------------|--------------------|--|
| | | | | Передача | a | b | n | | | | | | |
| Прямое направление | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 22,22 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 22,73 | 81,82 | Движение на спуск | 80 |
| 2 | 22,80 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 23,19 | 83,48 | | |
| 3 | 23,32 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 23,60 | 84,98 | | |
| 4 | 23,80 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 23,75 | 85,48 | Смена уклона | |
| 5 | 23,75 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 23,70 | 85,31 | Движение на подъем | |
| 6 | 23,70 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 23,65 | 85,15 | | |
| 7 | 23,65 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 23,61 | 85,00 | | |
| 8 | 23,61 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 23,57 | 84,87 | | |
| 9 | 23,57 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 23,54 | 84,74 | | |
| 10 | 23,54 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 23,51 | 84,63 | | |
| 11 | 23,51 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 23,48 | 84,52 | | |
| 12 | 23,48 | 100 | 0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | -321,61 | 22,00 | 79,21 | Смена уклона | Не требуется |
| 13 | 22,00 | 100 | 0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | -321,61 | 20,55 | 73,97 | Движение на подъем | |
| 14 | 20,55 | 100 | 0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | -321,61 | 19,10 | 68,77 | | |
| 15 | 19,10 | 100 | 0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | -321,61 | 17,67 | 63,61 | | |
| 16 | 17,67 | 100 | 0,046 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 121,60 | 16,95 | 61,02 | Переход на IV | |
| 17 | 16,95 | 100 | 0,046 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 121,60 | 16,30 | 58,67 | Движение на подъем | |
| 18 | 16,30 | 100 | 0,046 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 121,60 | 15,71 | 56,56 | | |
| 19 | 15,71 | 100 | 0,046 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 121,60 | 15,18 | 54,65 | | |
| 20 | 15,18 | 100 | 0,046 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 121,60 | 14,70 | 52,94 | Смена уклона | |
| 21 | 14,70 | 100 | 0,032 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 297,27 | 15,06 | 54,22 | | |
| 22 | 15,06 | 100 | 0,032 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 297,27 | 15,36 | 55,31 | Движение на подъем | |
| 23 | 15,36 | 100 | 0,032 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 297,27 | 15,62 | 56,24 | | |
| 24 | 15,62 | 100 | 0,032 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 297,27 | 15,84 | 57,03 | | |
| 25 | 15,84 | 100 | 0,032 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 297,27 | 16,03 | 57,72 | Смена уклона | |
| 26 | 16,03 | 100 | 0,021 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 435,30 | 16,74 | 60,27 | | |
| 27 | 16,74 | 100 | 0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 213,34 | 16,59 | 59,72 | Переход на V | |
| 28 | 16,59 | 100 | 0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 213,34 | 16,44 | 59,20 | Движение на подъем | |
| 29 | 16,44 | 100 | 0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 213,34 | 16,31 | 58,72 | | |
| 30 | 16,31 | 100 | 0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 213,34 | 16,19 | 58,27 | | |

Продолжение таблицы 6.3

| № | Начальная скорость, м/с | Расстояние, м | Уклон | Передача и соответствующие ей параметры | | | | e^{-2nx} | L | V , м/с | V , км/ч | Примечание | Искусственное снижение скорости до 80 км/ч | |
|----------------------|-------------------------|---------------|---------|---|-----|-------|--------|------------|---------|-----------|------------|--------------------|--|--------------------|
| | | | | Передача | a | b | n | | | | | | | |
| 31 | 16,19 | 100 | 0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 213,34 | 16,07 | 57,85 | | Не требуется | |
| 32 | 16,07 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 17,30 | 62,27 | Смена уклона | | |
| 33 | 17,30 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 18,36 | 66,09 | Движение на спуск | | |
| 34 | 18,36 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 19,29 | 69,43 | | | |
| 35 | 19,29 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 20,10 | 72,37 | | | |
| 36 | 20,10 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 20,83 | 74,99 | | | |
| 37 | 20,83 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 21,48 | 77,33 | | | |
| 38 | 21,48 | 100 | -0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 898,07 | 22,25 | 80,09 | Смена уклона | 80 | |
| 39 | 22,25 | 100 | -0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 898,07 | 22,93 | 82,56 | Движение на спуск | | |
| 40 | 22,93 | 100 | -0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 898,07 | 23,55 | 84,78 | | | |
| 41 | 23,55 | 100 | -0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 898,07 | 24,10 | 86,77 | | | |
| 42 | 24,10 | 100 | -0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 898,07 | 24,60 | 88,57 | | | |
| 43 | 24,60 | 100 | -0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 898,07 | 25,06 | 90,20 | | | |
| 44 | 25,06 | 100 | -0,019 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1069,26 | 25,73 | 92,61 | Смена уклона | | |
| 45 | 25,73 | 100 | -0,019 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1069,26 | 26,33 | 94,78 | Движение на спуск | | |
| 46 | 26,33 | 100 | -0,019 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1069,26 | 26,87 | 96,73 | | | |
| 47 | 26,87 | 100 | -0,019 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1069,26 | 27,36 | 98,51 | | | |
| 48 | 27,36 | 100 | 0,0075 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 502,21 | 26,69 | 96,07 | Смена уклона | | Движение на подъем |
| 49 | 27,06 | 100 | 0,0075 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 502,21 | 26,38 | 94,98 | | | |
| 50 | 26,78 | 100 | 0,0075 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,97 | 502,21 | 26,27 | 94,58 | | | |
| 51 | 26,51 | 38 | 0,0075 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 502,21 | 26,69 | 96,07 | | | |
| Обратное направление | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 22,22 | 100 | -0,0075 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 823,18 | 22,78 | 82,02 | Движение на спуск | 80 | |
| 2 | 22,73 | 100 | -0,0075 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 823,18 | 23,29 | 83,85 | | | |
| 3 | 23,19 | 100 | -0,0075 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 823,18 | 23,75 | 85,50 | | | |
| 4 | 23,60 | 38 | -0,0075 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,97 | 823,18 | 23,91 | 86,08 | | | |
| 5 | 23,75 | 100 | 0,019 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 256,13 | 23,25 | 83,69 | Смена уклона | | |
| 6 | 23,25 | 100 | 0,019 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 256,13 | 22,77 | 81,98 | Движение на подъем | | |
| 7 | 22,77 | 100 | 0,019 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 256,13 | 22,33 | 80,37 | | | |
| 8 | 22,33 | 100 | 0,019 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 256,13 | 21,90 | 78,86 | | | |
| 9 | 21,90 | 100 | 0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 427,32 | 21,81 | 78,52 | Смена уклона | | |

Продолжение таблицы 6.3

| № | Начальная скорость, м/с | Расстояние, м | Уклон | Передача и соответствующие ей параметры | | | | e^{-2nx} | L | V , м/с | V , км/ч | Примечание | Искусственное снижение скорости до 80 км/ч | |
|----|-------------------------|---------------|--------|---|-----|-------|--------|------------|---------|-----------|------------|--------------------|--|----|
| | | | | Передача | a | b | n | | | | | | | |
| 10 | 21,81 | 100 | 0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 427,32 | 21,73 | 78,22 | Движение на подъем | Не требуется | |
| 11 | 21,73 | 100 | 0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 427,32 | 21,65 | 77,93 | | | |
| 12 | 21,65 | 100 | 0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 427,32 | 21,57 | 77,67 | | | |
| 13 | 21,57 | 100 | 0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 427,32 | 21,51 | 77,42 | | | |
| 14 | 21,51 | 100 | 0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 427,32 | 21,44 | 77,20 | | | |
| 15 | 21,44 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 21,58 | 77,67 | Смена уклона | | |
| 16 | 21,58 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 21,70 | 78,11 | Движение на подъем | | |
| 17 | 21,70 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 21,81 | 78,52 | | | |
| 18 | 21,81 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 21,91 | 78,89 | | | |
| 19 | 21,91 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 22,01 | 79,23 | | | |
| 20 | 22,01 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 22,10 | 79,54 | | | |
| 21 | 22,10 | 100 | -0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1112,05 | 23,16 | 83,36 | Смена уклона | | 80 |
| 22 | 23,16 | 100 | -0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1112,05 | 24,09 | 86,73 | Движение на спуск | | |
| 23 | 24,09 | 100 | -0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1112,05 | 24,93 | 89,73 | | | |
| 24 | 24,93 | 100 | -0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1112,05 | 25,67 | 92,42 | | | |
| 25 | 25,67 | 100 | -0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1112,05 | 26,34 | 94,83 | | | |
| 26 | 26,34 | 100 | -0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1112,05 | 26,94 | 97,00 | | | |
| 27 | 26,94 | 100 | -0,032 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1347,43 | 27,82 | 100,14 | Смена уклона | | |
| 28 | 27,82 | 100 | -0,032 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1347,43 | 28,60 | 102,96 | Движение на спуск | | |
| 29 | 28,60 | 100 | -0,032 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1347,43 | 29,30 | 105,49 | | | |
| 30 | 29,30 | 100 | -0,032 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1347,43 | 29,94 | 107,77 | | | |
| 31 | 29,94 | 100 | -0,032 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1347,43 | 30,51 | 109,84 | | | |
| 32 | 30,51 | 100 | -0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1647,00 | 31,40 | 113,04 | Смена уклона | | |
| 33 | 31,40 | 100 | -0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1647,00 | 32,20 | 115,92 | Движение на спуск | | |
| 34 | 32,20 | 100 | -0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1647,00 | 32,92 | 118,51 | | | |
| 35 | 32,92 | 100 | -0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1647,00 | 33,57 | 120,85 | | | |
| 36 | 33,57 | 100 | -0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1647,00 | 34,16 | 122,98 | | | |
| 37 | 34,16 | 100 | -0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1647,00 | 34,70 | 124,91 | | | |
| 38 | 34,70 | 100 | -0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1647,00 | 35,18 | 126,66 | | | |
| 39 | 35,18 | 100 | -0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1647,00 | 35,63 | 128,26 | | | |
| 40 | 35,63 | 100 | -0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1647,00 | 36,03 | 129,72 | | | |

Окончание таблицы 6.3

| № | Начальная скорость, м/с | Расстояние, м | Уклон | Передача и соответствующие ей параметры | | | | e^{-2nx} | L | V , м/с | V , км/ч | Примечание | Искусственное снижение скорости до 80 км/ч |
|----|-------------------------|---------------|--------|---|-----|-------|--------|------------|--------|-----------|------------|--------------------|--|
| | | | | Передача | a | b | n | | | | | | |
| 41 | 36,03 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 35,49 | 127,76 | Смена уклона | 80 |
| 42 | 35,49 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 34,98 | 125,92 | Движение на спуск | |
| 43 | 34,98 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 34,50 | 124,20 | | |
| 44 | 34,50 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 34,05 | 122,58 | | |
| 45 | 34,05 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 33,63 | 121,08 | | |
| 46 | 33,63 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 33,24 | 119,67 | | |
| 47 | 33,24 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 32,88 | 118,36 | | |
| 48 | 32,88 | 100 | -0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 791,08 | 32,54 | 117,13 | | |
| 49 | 32,54 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 31,91 | 114,89 | Смена уклона | |
| 50 | 31,86 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 31,33 | 112,77 | Движение на подъем | |
| 51 | 31,22 | 100 | 0,006 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 534,31 | 30,77 | 110,78 | | |

6.1.3 Расчет скоростей движения и оценка по графикам коэффициентов безопасности для второго варианта трассы

Расчет скоростей движения для второго варианта трассы проводится аналогичным образом, что и для первого, используя формулы (6.6) – (6.7) и программу Microsoft Excel. Результаты расчета приведены в таблице 6.4.

По формуле (6.8) строится график коэффициентов безопасности.

Эпюры скоростей и график коэффициентов безопасности для второго варианта трассы приведены на листе номер 3 графической части выпускной квалификационной работы.

Таблица 6.4 – Расчет скоростей движения для второго варианта трассы

| № | Начальная скорость, м/с | Расстояние, м | Уклон | Передача и соответствующие ей параметры | | | | e^{-2nx} | L | V , м/с | V , км/ч | Примечание | Искусственное снижение скорости до 80 км/ч |
|--------------------|-------------------------|---------------|--------|---|-----|-------|--------|------------|---------|-----------|------------|--------------------|--|
| | | | | Передача | a | b | n | | | | | | |
| Прямое направление | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 22,22 | 100 | 0,016 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 320,33 | 21,92 | 78,90 | На подъем | 80 |
| 2 | 21,96 | 100 | -0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 898,07 | 22,67 | 81,62 | Смена уклона | |
| 3 | 22,67 | 100 | -0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 898,07 | 23,31 | 83,93 | На спуск | |
| 4 | 23,31 | 100 | -0,008 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 833,88 | 23,79 | 85,64 | Смена уклона | |
| 5 | 23,79 | 100 | -0,008 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 833,88 | 24,22 | 87,18 | Движение на спуск | |
| 6 | 24,22 | 100 | -0,008 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 833,88 | 24,61 | 88,59 | | |
| 7 | 24,61 | 100 | 0,016 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 320,33 | 24,16 | 86,97 | Смена уклона | |
| 8 | 24,16 | 100 | 0,016 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 320,33 | 23,73 | 85,44 | На подъем | |
| 9 | 23,73 | 100 | 0,043 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | -257,42 | 22,37 | 80,52 | Смена уклона | |
| 10 | 22,37 | 100 | 0,043 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | -257,42 | 21,02 | 75,68 | На подъем | |
| 11 | 21,02 | 100 | 0,053 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | -471,40 | 19,28 | 69,41 | Смена уклона | Не требуется |
| 12 | 19,28 | 100 | 0,053 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | -471,40 | 17,52 | 63,07 | На подъем | |
| 13 | 17,52 | 100 | 0,053 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 33,76 | 16,47 | 59,29 | Переход на IV | |
| 14 | 16,47 | 100 | 0,053 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 33,76 | 15,50 | 55,80 | На подъем | |
| 15 | 15,50 | 100 | 0,046 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 121,60 | 14,99 | 53,97 | Смена уклона | |
| 16 | 14,99 | 100 | 0,046 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 121,60 | 14,53 | 52,32 | Движение на подъем | |
| 17 | 14,53 | 100 | 0,046 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 121,60 | 14,13 | 50,85 | | |
| 18 | 14,13 | 100 | 0,047 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 109,05 | 13,70 | 49,32 | Смена уклона | |
| 19 | 13,70 | 100 | 0,047 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 109,05 | 13,32 | 47,95 | Движение на подъем | |
| 20 | 13,32 | 100 | 0,047 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 109,05 | 12,98 | 46,73 | | |
| 21 | 12,98 | 100 | 0,047 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 109,05 | 12,68 | 45,64 | | |
| 22 | 12,68 | 100 | 0,039 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 209,43 | 12,93 | 46,54 | Смена уклона | |
| 23 | 12,93 | 100 | 0,039 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 209,43 | 13,14 | 47,30 | Движение на подъем | |
| 24 | 13,14 | 100 | 0,039 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 209,43 | 13,32 | 47,95 | | |
| 25 | 13,32 | 100 | 0,028 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 347,46 | 14,13 | 50,87 | Смена уклона | |
| 26 | 14,13 | 100 | 0,028 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 347,46 | 14,80 | 53,27 | Движение на подъем | |
| 27 | 14,80 | 100 | 0,028 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 347,46 | 15,35 | 55,27 | | |
| 28 | 15,35 | 100 | 0,021 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 435,30 | 16,18 | 58,25 | Смена уклона | |
| 29 | 16,18 | 100 | 0,021 | IV | 626 | 0,677 | 0,0007 | 0,87 | 435,30 | 16,87 | 60,72 | На подъем | |
| 30 | 16,87 | 100 | 0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 213,34 | 16,70 | 60,13 | Переход на V | |

Продолжение таблицы 6.4

| № | Начальная скорость, м/с | Расстояние, м | Уклон | Передача и соответствующие ей параметры | | | | e^{-2nx} | L | V , м/с | V , км/ч | Примечание | Искусственное снижение скорости до 80 км/ч |
|----------------------|-------------------------|---------------|--------|---|-----|-------|--------|------------|---------|-----------|------------|--------------------|--|
| | | | | Передача | a | b | n | | | | | | |
| 31 | 16,70 | 100 | -0,007 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 812,48 | 17,89 | 64,40 | Смена уклона | Не требуется |
| 32 | 17,89 | 100 | -0,007 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 812,48 | 18,92 | 68,10 | Движение на спуск | |
| 33 | 18,92 | 100 | -0,007 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 812,48 | 19,82 | 71,35 | Движение на спуск | |
| 34 | 19,82 | 100 | -0,029 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1283,24 | 21,48 | 77,32 | Смена уклона | |
| 35 | 21,48 | 100 | -0,029 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1283,24 | 22,90 | 82,45 | Движение на спуск | 80 |
| 36 | 22,90 | 100 | -0,029 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1283,24 | 24,14 | 86,91 | | |
| 37 | 24,14 | 100 | -0,029 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1283,24 | 25,23 | 90,84 | | |
| 38 | 25,23 | 100 | -0,022 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1133,45 | 25,98 | 93,52 | Смена уклона | |
| 39 | 25,98 | 100 | -0,022 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1133,45 | 26,65 | 95,93 | Движение на спуск | |
| 40 | 26,65 | 100 | -0,022 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1133,45 | 27,25 | 98,11 | | |
| 41 | 27,25 | 100 | -0,022 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1133,45 | 27,80 | 100,07 | | |
| 42 | 27,80 | 100 | -0,022 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1133,45 | 28,29 | 101,85 | | |
| 43 | 28,29 | 100 | -0,022 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1133,45 | 28,74 | 103,47 | Смена уклона | |
| 44 | 28,74 | 100 | -0,016 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1005,06 | 28,98 | 104,33 | | |
| 45 | 28,98 | 100 | -0,016 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1005,06 | 29,20 | 105,11 | Движение на спуск | |
| 46 | 29,20 | 100 | -0,016 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1005,06 | 29,40 | 105,83 | | |
| 47 | 29,40 | 100 | -0,016 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1005,06 | 29,58 | 106,49 | | |
| 48 | 29,58 | 100 | 0,008 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 491,51 | 29,08 | 104,68 | Смена уклона | |
| 49 | 29,05 | 100 | 0,008 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 491,51 | 28,61 | 102,98 | Движение на подъем | |
| 50 | 28,55 | 51 | 0,008 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,96 | 491,51 | 28,38 | 102,16 | Движение на подъем | |
| Обратное направление | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 22,22 | 100 | -0,008 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 833,88 | 22,80 | 82,08 | Движение на спуск | 80 |
| 2 | 22,84 | 100 | -0,008 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 833,88 | 23,32 | 83,97 | | |
| 3 | 23,39 | 51 | -0,008 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,96 | 833,88 | 23,57 | 84,86 | | |
| 4 | 23,65 | 100 | 0,016 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 320,33 | 23,26 | 83,74 | Смена уклона | |
| 5 | 23,26 | 100 | 0,016 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 320,33 | 22,89 | 82,42 | Движение на подъем | |
| 6 | 22,89 | 100 | 0,016 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 320,33 | 22,55 | 81,18 | | |
| 7 | 22,55 | 100 | 0,016 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 320,33 | 22,23 | 80,01 | | |
| 8 | 22,23 | 100 | 0,022 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 191,94 | 21,70 | 78,11 | Смена уклона | Не требуется |
| 9 | 21,70 | 100 | 0,022 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 191,94 | 21,20 | 76,31 | Движение на подъем | |
| 10 | 21,20 | 100 | 0,022 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 191,94 | 20,73 | 74,61 | Движение на подъем | |

Продолжение таблицы 6.4

| № | Начальная скорость, м/с | Расстояние, м | Уклон | Передача и соответствующие ей параметры | | | | e^{-2nx} | L | V , м/с | V , км/ч | Примечание | Искусственное снижение скорости до 80 км/ч |
|----|-------------------------|---------------|--------|---|-----|-------|--------|------------|---------|-----------|------------|--------------------|--|
| | | | | Передача | a | b | n | | | | | | |
| 11 | 20,73 | 100 | 0,022 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 191,94 | 20,28 | 73,01 | Движение на подъем | Не требуется |
| 12 | 20,28 | 100 | 0,022 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 191,94 | 19,86 | 71,50 | | |
| 13 | 19,86 | 100 | 0,022 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 191,94 | 19,46 | 70,07 | | |
| 14 | 19,46 | 100 | 0,029 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 42,15 | 18,79 | 67,63 | Смена уклона | |
| 15 | 18,79 | 100 | 0,029 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 42,15 | 18,14 | 65,30 | Движение на подъем | |
| 16 | 18,14 | 100 | 0,029 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 42,15 | 17,52 | 63,08 | | |
| 17 | 17,52 | 100 | 0,029 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 42,15 | 16,93 | 60,95 | | |
| 18 | 16,93 | 100 | 0,007 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 512,91 | 17,44 | 62,77 | Смена уклона | |
| 19 | 17,44 | 100 | 0,007 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 512,91 | 17,89 | 64,41 | Движение на подъем | |
| 20 | 17,89 | 100 | 0,007 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 512,91 | 18,30 | 65,88 | | |
| 21 | 18,30 | 100 | -0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1112,05 | 19,87 | 71,52 | Смена уклона | |
| 22 | 19,87 | 100 | -0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1112,05 | 21,21 | 76,35 | Движение на спуск | |
| 23 | 21,21 | 100 | -0,021 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1112,05 | 22,38 | 80,56 | | |
| 24 | 22,38 | 100 | -0,028 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1261,84 | 23,65 | 85,14 | Смена уклона | |
| 25 | 23,65 | 100 | -0,028 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1261,84 | 24,76 | 89,15 | Движение на спуск | |
| 26 | 24,76 | 100 | -0,028 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1261,84 | 25,75 | 92,71 | | |
| 27 | 25,75 | 100 | -0,039 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1497,22 | 26,97 | 97,08 | Смена уклона | |
| 28 | 26,97 | 100 | -0,039 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1497,22 | 28,04 | 100,96 | Движение на спуск | |
| 29 | 28,04 | 100 | -0,039 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1497,22 | 29,00 | 104,41 | | |
| 30 | 29,00 | 100 | -0,047 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1668,40 | 30,08 | 108,28 | Смена уклона | |
| 31 | 30,08 | 100 | -0,047 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1668,40 | 31,04 | 111,74 | Движение на спуск | |
| 32 | 31,04 | 100 | -0,047 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1668,40 | 31,90 | 114,84 | | |
| 33 | 31,90 | 100 | -0,047 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1668,40 | 32,68 | 117,63 | | |
| 34 | 32,68 | 100 | -0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1647,00 | 33,35 | 120,06 | Смена уклона | |
| 35 | 33,35 | 100 | -0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1647,00 | 33,96 | 122,26 | Движение на спуск | |
| 36 | 33,96 | 100 | -0,046 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1647,00 | 34,51 | 124,25 | | |
| 37 | 34,51 | 100 | -0,053 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1796,79 | 35,18 | 126,66 | Смена уклона | |
| 38 | 35,18 | 100 | -0,053 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1796,79 | 35,79 | 128,84 | Движение на спуск | |
| 39 | 35,79 | 100 | -0,053 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1796,79 | 36,34 | 130,82 | | |
| 40 | 36,34 | 100 | -0,053 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1796,79 | 36,84 | 132,62 | | |

Окончание таблицы 6.4

| № | Начальная скорость, м/с | Расстояние, м | Уклон | Передача и соответствующие ей параметры | | | | e^{-2nx} | L | V , м/с | V , км/ч | Примечание | Искусственное снижение скорости до 80 км/ч |
|----|-------------------------|---------------|--------|---|-----|-------|--------|------------|---------|-----------|------------|---------------------------------|--|
| | | | | Передача | a | b | n | | | | | | |
| 41 | 36,84 | 100 | -0,043 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1582,81 | 37,07 | 133,46 | Смена уклона | 80 |
| 42 | 37,07 | 100 | -0,043 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1582,81 | 37,29 | 134,24 | На спуск | |
| 43 | 37,29 | 100 | -0,016 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1005,06 | 36,89 | 132,80 | Смена уклона | |
| 44 | 36,89 | 100 | -0,016 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1005,06 | 36,52 | 131,46 | На спуск | |
| 45 | 36,52 | 100 | 0,008 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 491,51 | 35,62 | 128,23 | Смена уклона | |
| 46 | 35,62 | 100 | 0,008 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 491,51 | 34,77 | 125,17 | Движение на подъем | |
| 47 | 34,77 | 100 | 0,008 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 491,51 | 33,97 | 122,29 | | |
| 48 | 33,97 | 100 | 0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 427,32 | 33,14 | 119,29 | Смена уклона | |
| 49 | 33,14 | 100 | 0,011 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 427,32 | 32,35 | 116,45 | На подъем | |
| 50 | 32,35 | 100 | -0,016 | V | 416 | 0,397 | 0,0004 | 0,92 | 1005,06 | 32,30 | 116,27 | Смена уклона, движение на спуск | |

6.2 Оценка безопасности движения по графикам коэффициентов аварийности

Метод коэффициентов аварийности основан на обобщении статистических данных ДТП. Итоговый коэффициент характеризует степень опасности участков дороги. Он представляет собой произведение частных коэффициентов, учитывающих влияние отдельных элементов плана и профиля трассы. Определяется по формуле:

$$K_{\text{ит.ав.}} = \prod_{i=1}^{18} K_i, \quad (6.10)$$

где K_i – частные коэффициенты аварийности, определяемые отношением количества ДТП на участке искомой дороги к количеству ДТП на эталонном горизонтальном участке с проезжей частью шириной 7,5 м, с шероховатым покрытием и укрепленными обочинами.

Графики строятся для трех сезонов года: лета, зимы и переходного периода. Расчет начинается с летнего сезона.

Чтобы получить сезонный коэффициент K_1 , нужно умножить значение интенсивности движения на поправочный коэффициент определенного сезона года. Расчет ведется по формуле:

$$W_i = W \cdot K_{\text{попр}}, \quad (6.11)$$

где W – значение показателя;

$K_{\text{попр}}$ – значение поправочного коэффициента.

Для нахождения поправочных коэффициентов используем [10, табл.2].

6.2.1 Оценка для первого варианта трассы

Определим значения частных коэффициентов аварийности для первого варианта трассы.

Поправочный коэффициент летнего периода для K_1 равен 1. Для переходного периода равен 1,2, а для зимнего – 0,95.

$$W_{\text{л}} = 1200 \cdot 1 = 1200 \frac{\text{авт.}}{\text{сут.}}$$

$$W_{\text{п}} = 1200 \cdot 1,2 = 1440 \frac{\text{авт.}}{\text{сут.}}$$

$$W_{\text{з}} = 1200 \cdot 0,95 = 1140 \frac{\text{авт.}}{\text{сут.}}$$

Методом интерполяции, используя [2], определяем значения коэффициентов аварийности, соответствующие найденным значениям. Получаем, что $K_{1,л} = 1,065$, $K_{1,п} = 1,023$, $K_{1,з} = 1,076$. Остальные коэффициенты рассчитываются аналогично. Расчет ведется в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Коэффициенты аварийности для первого варианта трассы

| Коэффициент аварийности | Оцениваемый показатель | Участок дороги | Значение показателя | Время года | Поправочный коэффициент | Значение исправленного показателя | Значение коэффициента аварийности |
|-------------------------|----------------------------------|--|---------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| K_1 | Интенсивность движения, авт./сут | вся дорога | 1200 | лето | 1,0 | 1200 | 0,615 |
| | | | | переходный период | 1,2 | 1440 | 0,633 |
| | | | | зима | 0,95 | 1140 | 0,61 |
| K_2 | Ширина проезжей части, м | вся дорога | 6,0 | лето | 1,0 | 6 | 1,35 |
| | | | | переходный период | 1,0 | 6 | 1,35 |
| | | | | зима | 0,9 | 5,4 | 1,57 |
| K_3 | Ширина обочины, м | вся дорога | 2 | лето | 1,0 | 2 | 1,2 |
| | | | | переходный период | 1,0 | 2 | 1,2 |
| | | | | зима | 0,9 | 1,8 | 1,28 |
| K_4 | Продольный уклон, % | ПК0+00-ПК3+00 | 6 | для всех сезонов | 1,0 | 6 | 1,0 |
| | | ПК3+00-ПК11+00 | 6 | | | 6 | 1,0 |
| | | ПК11+00-ПК20+00 | 46 | | | 46 | 2,25 |
| | | ПК20+00-ПК25+00 | 32 | | | 32 | 1,37 |
| | | ПК25+00-ПК31+00 | 21 | | | 21 | 1,03 |
| | | ПК31+00-ПК37+00 | 6 | | | 6 | 1,0 |
| | | ПК37+00-ПК43+00 | 11 | | | 11 | 1,0 |
| | | ПК43+00-ПК47+00 | 19 | | | 19 | 1,0 |
| ПК47+00-ПК50+38 | 7,5 | 7,5 | 1,0 | | | | |
| K_5 | Радиус кривых в плане, м | ПК15+84-ПК17+26 | 1000 | для всех сезонов | 1,0 | 1000 | 1,25 |
| | | ПК26+78-ПК30+56 | 1000 | | | 1000 | 1,25 |
| | | ПК38+61-ПК39+30 | 1000 | | | 1000 | 1,25 |
| K_6 | Видимость, м | ПК14+84-ПК18+46 ПК25+58-ПК31+76 ПК30+33-ПК31+68 ПК37+41-ПК40+50 | 154 | лето | 1,0 | 154 | 2,66 |
| | | | | переходный период | 1,0 | 154 | 2,66 |
| | | | | зима | 0,8 | 123,26 | 2,86 |

Продолжение таблицы 6.5

| Коэффициент аварийности | Оцениваемый показатель | Участок дороги | Значение показателя | Время года | Поправочный коэффициент | Значение исправленного показателя | Значение коэффициента аварийности |
|-------------------------|---|----------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| K_7 | Ширина проезжей части моста по отношению к проезжей части дороги, м | вся дорога | нет моста | для всех сезонов | 1,0 | нет моста | 1,0 |
| K_8 | Длина прямых участков, км | вся дорога | <3 м | для всех сезонов | 1,0 | <3 м | 1,0 |
| K_9 | Тип пересечения с примыкающей дорогой | нет | 10% от суммарной интенсивности | для всех сезонов | 1,0 | 10% от суммарной интенсивности | 1,0 |
| K_{10} | Интенсивность движения на основной дороге на пересечении в одном уровне, авт./сут | нет | 1200 | лето | 1,0 | 1200 | 1,0 |
| | | | | переходный период | 1,0 | 1200 | 1,0 |
| | | | | зима | 1,0 | 1200 | 1,0 |
| K_{11} | Видимость пересечения в одном уровне с примыкающей дорогой, м | нет | >60 м | лето | 1,0 | >60 м | 1,0 |
| | | | | переходный период | 1,0 | >60 м | 1,0 |
| | | | | зима | 1,0 | >60 м | 1,0 |
| K_{12} | Число полос движения на проезжей части | вся дорога | 2 | для всех сезонов | 1,0 | 2 | 1,0 |
| K_{13} | Расстояние проезжей части от застройки | вся дорога | >50 м | для всех сезонов | 1,0 | >50 м | 1,0 |

Окончание таблицы 6.5

| Коэффициент аварийности | Оцениваемый показатель | Участок дороги | Значение показателя | Время года | Поправочный коэффициент | Значение исправленного показателя | Значение коэффициента аварийности |
|-------------------------|---|----------------|---------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| K_{14} | Длина населенного пункта, вдоль которого проходит дорога, м | вся дорога | 0 | для всех сезонов | 1,0 | 0 | 1,0 |
| K_{15} | Протяженность участков подходов, примыкающих к населенным пунктам, м | вся дорога | 0 | для всех сезонов | 1,0 | 0 | 1,0 |
| K_{16} | Коэффициент сцепления | вся дорога | 0,6 | лето | 1,0 | 0,6 | 1,3 |
| | | | 0,3 | переходный период | 0,9 | 0,27 | 2,5 |
| | | | 0,4 | зима | 0,8 | 0,32 | 2,4 |
| K_{17} | Расстояние от кромки проезжей части до сооружения, столба или дерева вблизи дороги, м | вся дорога | >5 м | для всех сезонов | 1,0 | >5 м | 1,0 |
| K_{18} | Ширина разделительной полосы, м | вся дорога | 0 | для всех сезонов | 1,0 | 0 | 1,0 |

6.2.2 Оценка для второго варианта трассы

Степень опасности участков второго варианта трассы определяется аналогичным образом, что и для первого.

Расчет ведется в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Коэффициенты аварийности для второго варианта трассы

| Коэффициент аварийности | Оцениваемый показатель | Участок дороги | Значение показателя | Время года | Поправочный коэффициент | Значение исправленного показателя | Значение коэффициента аварийности |
|-------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| K_1 | Интенсивность движения, авт./сут | вся дорога | 1200 | лето | 1,0 | 1200 | 0,615 |
| | | | | переходный период | 1,2 | 1440 | 0,633 |
| | | | | зима | 0,95 | 1140 | 0,61 |
| K_2 | Ширина проезжей части, м | вся дорога | 6,0 | лето | 1,0 | 6 | 1,35 |
| | | | | переходный период | 1,0 | 6 | 1,35 |
| | | | | зима | 0,9 | 5,4 | 1,57 |
| K_3 | Ширина обочины, м | вся дорога | 2 | лето | 1,0 | 2 | 1,2 |
| | | | | переходный период | 1,0 | 2 | 1,2 |
| | | | | зима | 0,9 | 1,8 | 1,28 |
| K_4 | Продольный уклон, ‰ | ПК0+00-ПК1+00 | 16 | для всех сезонов | 1,0 | 16 | 1,0 |
| | | ПК1+00-ПК3+00 | 11 | | | 11 | 1,0 |
| | | ПК3+00-ПК6+00 | 8 | | | 8 | 1,0 |
| | | ПК6+00-ПК8+00 | 16 | | | 16 | 1,0 |
| | | ПК8+00-ПК10+00 | 43 | | | 43 | 2,06 |
| | | ПК10+00-ПК14+00 | 53 | | | 53 | 2,55 |
| | | ПК14+00-ПК17+00 | 46 | | | 46 | 2,25 |
| | | ПК17+00-ПК21+00 | 47 | | | 47 | 2,31 |
| | | ПК21+00-ПК24+00 | 39 | | | 39 | 1,81 |
| | | ПК24+00-ПК27+00 | 28 | | | 28 | 1,2 |
| | | ПК27+00-ПК30+00 | 21 | | | 21 | 1,03 |
| | | ПК30+00-ПК33+00 | 7 | | | 7 | 1,0 |
| | | ПК33+00-ПК37+00 | 29 | | | 29 | 1,23 |
| | | ПК37+00-ПК43+00 | 22 | | | 22 | 1,05 |
| ПК43+00-ПК47+00 | 16 | 16 | 1,0 | | | | |
| ПК47+00-ПК49+51 | 8 | 8 | 1,0 | | | | |
| K_5 | Радиус кривых в плане, м | ПК18+08-ПК21+83 | 800 | для всех сезонов | 1,0 | 800 | 1,43 |
| | | ПК26+53-ПК29+50 | 600 | | | 600 | 1,6 |

Продолжение таблицы 6.6

| Коэффициент аварийности | Оцениваемый показатель | Участок дороги | Значение показателя | Время года | Поправочный коэффициент | Значение исправленного показателя | Значение коэффициента аварийности |
|-------------------------|---|--|--------------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| K ₆ | Видимость, м | ПК0+35-ПК1+65 ПК16+88-ПК23+03 ПК25+33-ПК30+70 ПК29+30-ПК30+70 | 154 | лето | 1,0 | 154 | 2,66 |
| | | | | переходный период | 1,0 | 154 | 2,66 |
| | | | | зима | 0,8 | 123,26 | 2,86 |
| K ₇ | Ширина проезжей части моста по отношению к проезжей части дороги, м | вся дорога | нет моста | для всех сезонов | 1,0 | нет моста | 1,0 |
| K ₈ | Длина прямых участков, км | вся дорога | <3 м | для всех сезонов | 1,0 | <3 м | 1,0 |
| K ₉ | Тип пересечения с примыкающей дорогой | нет | 10% от суммарной интенсивности | для всех сезонов | 1,0 | 10% от суммарной интенсивности | 1,0 |
| K ₁₀ | Интенсивность движения на основной дороге на пересечении в одном уровне, авт./сут | нет | 1200 | лето | 1,0 | 1200 | 1,0 |
| | | | | переходный период | 1,0 | 1200 | 1,0 |
| | | | | зима | 1,0 | 1200 | 1,0 |
| K ₁₁ | Видимость пересечения в одном уровне с примыкающей дорогой, м | нет | >60 м | лето | 1,0 | >60 м | 1,0 |
| | | | | переходный период | 1,0 | >60 м | 1,0 |
| | | | | зима | 1,0 | >60 м | 1,0 |
| K ₁₂ | Число полос движения на проезжей части | вся дорога | 2 | для всех сезонов | 1,0 | 2 | 1,0 |
| K ₁₃ | Расстояние проезжей части от застройки | вся дорога | >50 м | для всех сезонов | 1,0 | >50 м | 1,0 |

Окончание таблицы 6.6

| Коэффициент аварийности | Оцениваемый показатель | Участок дороги | Значение показателя | Время года | Поправочный коэффициент | Значение исправленного показателя | Значение коэффициента аварийности |
|-------------------------|---|-----------------|---------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| K_{14} | Длина населенного пункта, вдоль которого проходит дорога, м | ПК24+00-ПК27+00 | 300 | для всех сезонов | 1,0 | 300 | 1,0 |
| K_{15} | Протяженность участков подходов, примыкающих к населенным пунктам, м | вся дорога | 0 | для всех сезонов | 1,0 | 0 | 1,0 |
| K_{16} | Коэффициент сцепления | вся дорога | 0,6 | лето | 1,0 | 0,6 | 1,3 |
| | | | 0,3 | переходный период | 0,9 | 0,27 | 2,5 |
| | | | 0,4 | зима | 0,8 | 0,32 | 2,4 |
| K_{17} | Расстояние от кромки проезжей части до сооружения, столба или дерева вблизи дороги, м | вся дорога | >5 м | для всех сезонов | 1,0 | >5 м | 1,0 |
| K_{18} | Ширина разделительной полосы, м | вся дорога | 0 | для всех сезонов | 1,0 | 0 | 1,0 |

6.3 Оценка по пропускной способности и уровням загрузки

6.3.1 Методика оценки

Пропускной способностью называется максимальное количество автомобилей, которое может пройти по дороге за определенный отрезок времени при определенном режиме движения.

Подразделяется на:

- максимальную теоретическую, которая определяется по формулам для идеализированного колонного движения автомобилей одного типа в благоприятных условиях, то есть при движении по эталонному участку;

- практическую, определяемую с помощью опытных коэффициентов, которые отражают влияние дорожных условий на изменение пропускной способности по сравнению с эталонным участком.

Фактическая пропускная способность рассчитывается по формуле:

$$P_{\phi} = \beta \cdot P_{max}, \quad (6.12)$$

где β – итоговый коэффициент снижения пропускной способности;

P_{max} – максимальная пропускная способность, приведенная к легковому автомобилю, $\frac{\text{прив.л.авт.}}{\text{час}}$.

Итоговый коэффициент снижения пропускной способности равен произведению частных коэффициентов:

$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2 \dots \beta_{15}, \quad (6.13)$$

где $\beta_1, \dots, \beta_{15}$ – частные коэффициенты, учитывающие снижение пропускной способности за счет влияния неблагоприятных условий.

Коэффициент загрузки каждого участка дороги определяют по формуле:

$$z = \frac{N_{\text{час}}}{P_{\phi}}, \quad (6.14)$$

где $N_{\text{час}}$ – часовая интенсивность движения, $\frac{\text{прив.л.авт.}}{\text{час}}$;

P_{ϕ} – то же, что формуле (6.12).

Часовая интенсивность движения определяется по формуле:

$$N_{\text{час}} = 0,1 \cdot N, \quad (6.15)$$

где N – суточная интенсивность движения по дороге, $\frac{\text{прив.л.авт.}}{\text{сут.}}$.

Согласно исходным данным:

$$P_{max} = 2000 \frac{\text{прив.л.авт.}}{\text{час}}$$

$$N = 1495 \frac{\text{прив.л.авт.}}{\text{сут}}$$

$$N_{\text{час1}} = 0,1 \cdot 1495 = 149,5 \frac{\text{прив.л.авт.}}{\text{час}}$$

Значения частных коэффициентов принимаются по [10, прил. 4].

6.3.2 Оценка по пропускной способности и уровням загрузки для первого варианта трассы

В таблицу 6.7 вносим названия, значения частных коэффициентов и интервал их распространения по длине дороги для первого варианта трассы.

Таблица 6.7 – Значения частных коэффициентов снижения загрузки первого варианта трассы

| Название частного коэффициента | Интервал | Значение частного коэффициента |
|--|-----------------|--------------------------------|
| Ширина полосы движения β_1 | вся трасса | 0,85 |
| Ширина обочины β_2 | вся трасса | 0,8 |
| Расстояние от кромки проезжей части до препятствия β_3 | ПК5+57–ПК16+84 | 0,85 |
| | ПК18+05–ПК22+33 | 0,85 |
| | ПК30+04–ПК32+06 | 0,85 |
| | ПК40+66–ПК43+93 | 0,85 |
| Количество автопоездов в потоке автомобилей β_4 | ПК0+00–ПК9+50 | 0,94 |
| | ПК31+00–ПК50+38 | 0,94 |
| Продольный уклон β_5 | ПК0+00–ПК3+00 | 1,0 |
| | ПК3+00–ПК11+00 | 1,0 |
| | ПК11+00–ПК20+00 | 0,86 |
| | ПК20+00–ПК25+00 | 0,93 |
| | ПК25+00–ПК31+00 | 0,94 |
| | ПК31+00–ПК37+00 | 1,0 |
| | ПК37+00–ПК43+00 | 1,0 |
| | ПК43+00–ПК47+00 | 1,0 |
| ПК47+00–ПК50+38 | 1,0 | |
| Расстояние видимости β_6 | ПК13+84–ПК19+46 | 0,90 |
| | ПК24+58–ПК32+76 | 0,90 |
| | ПК29+33–ПК32+68 | 0,90 |
| | ПК36+41–ПК41+50 | 0,90 |
| Кривые в плане β_7 | ПК14+84–ПК18+46 | 1,0 |
| | ПК26+78–ПК30+56 | 1,0 |
| | ПК38+61–ПК39+30 | 1,0 |
| Ограничение скорости движения дорожными знаками β_8 | вся трасса | 1,0 |

Окончание таблицы 6.7

| Название частного коэффициента | Интервал | Значение частного коэффициента |
|---|-----------------|--------------------------------|
| Пересечения в одном уровне β_9 | нет пересечений | 1,0 |
| Состояние обочин β_{10} | вся трасса | 0,99 |
| Тип покрытия β_{11} | вся трасса | 1,0 |
| Расположение сервиса β_{12} | вся трасса | 1,0 |
| Разметка проезжей части β_{13} | вся трасса | 1,05 |
| Наличие указателя полос движения β_{14} | вся трасса | 1,0 |
| Количество автобусов в транспортном потоке β_{15} | вся трасса | 0,78 |

Строим эпюру пропускной способности для первого варианта трассы.

Путем перемножения частных коэффициентов находим итоговые коэффициенты снижения пропускной способности на всех участках трассы по формуле (6.13), вычисляем пропускную способность по формуле (6.12) и по формуле (6.14) определяем уровни загрузки и вписываем их в таблицу 6.8.

Таблица 6.8 – Расчет пропускной способности и уровней загрузки для первого варианта трассы

| № участка | Границы | Итоговый коэффициент β | Пропускная способность P_ϕ | Уровень загрузки z |
|-----------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| 1 | ПК0+00 – ПК3+00 | 0,52 | 1040 | 0,14 |
| 2 | ПК3+00 – ПК5+57 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 3 | ПК5+57 – ПК9+50 | 0,44 | 880 | 0,17 |
| 4 | ПК9+50 – ПК11+00 | 0,46 | 920 | 0,16 |
| 5 | ПК11+00 – ПК13+84 | 0,40 | 800 | 0,19 |
| 6 | ПК13+84 – ПК14+84 | 0,36 | 720 | 0,21 |
| 7 | ПК14+84 – ПК16+84 | 0,36 | 720 | 0,21 |
| 8 | ПК16+84 – ПК18+05 | 0,43 | 860 | 0,17 |
| 9 | ПК18+05 – ПК18+46 | 0,36 | 720 | 0,21 |
| 10 | ПК18+46 – ПК19+46 | 0,36 | 720 | 0,21 |
| 11 | ПК19+46 – ПК20+00 | 0,40 | 800 | 0,19 |
| 12 | ПК20+00 – ПК22+33 | 0,44 | 880 | 0,17 |
| 13 | ПК22+33 – ПК24+58 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 14 | ПК24+58 – ПК25+00 | 0,46 | 920 | 0,16 |
| 15 | ПК25+00 – ПК26+78 | 0,46 | 920 | 0,16 |
| 16 | ПК26+78 – ПК30+04 | 0,46 | 920 | 0,16 |
| 17 | ПК30+04 – ПК30+56 | 0,40 | 800 | 0,19 |
| 18 | ПК30+56 – ПК31+00 | 0,40 | 800 | 0,19 |
| 19 | ПК31+00 – ПК32+06 | 0,40 | 800 | 0,19 |
| 20 | ПК32+06 – ПК32+76 | 0,47 | 940 | 0,16 |
| 21 | ПК32+76 – ПК36+41 | 0,52 | 1040 | 0,14 |
| 22 | ПК36+41 – ПК37+00 | 0,47 | 940 | 0,16 |
| 23 | ПК37+00 – ПК38+61 | 0,47 | 940 | 0,16 |
| 24 | ПК38+61 – ПК39+30 | 0,47 | 940 | 0,16 |
| 25 | ПК39+30 – ПК40+66 | 0,47 | 940 | 0,16 |
| 26 | ПК40+66 – ПК41+50 | 0,40 | 800 | 0,19 |
| 27 | ПК41+50 – ПК43+00 | 0,43 | 860 | 0,17 |

Окончание таблицы 6.8

| № участка | Границы | Итоговый коэффициент β | Пропускная способность P_{ϕ} | Уровень загрузки z |
|-----------|-------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 28 | ПК43+00 – ПК43+93 | 0,43 | 860 | 0,17 |
| 29 | ПК43+93 – ПК47+00 | 0,52 | 1040 | 0,14 |
| 30 | ПК47+00 – ПК50+38 | 0,51 | 1020 | 0,15 |

По найденным значениям строим график пропускной способности и уровня загрузки. Они приведены на листе номер 2 графической части выпускной квалификационной работы.

6.3.3 Оценка по пропускной способности и уровням загрузки для второго варианта трассы

В таблицу 6.9 вносим названия, значения частных коэффициентов и интервал их распространения по длине дороги для второго варианта трассы.

Таблица 6.9 – Значения частных коэффициентов снижения загрузки второго варианта трассы

| Название частного коэффициента | Интервал | Значение частного коэффициента |
|--|-----------------|--------------------------------|
| Ширина полосы движения β_1 | вся трасса | 0,85 |
| Ширина обочины β_2 | вся трасса | 0,8 |
| Расстояние от кромки проезжей части до препятствия β_3 | ПК1+75–ПК3+27 | 0,85 |
| | ПК5+15–ПК9+82 | 0,85 |
| | ПК25+66–ПК26+13 | 0,85 |
| | ПК31+85–ПК32+09 | 0,85 |
| | ПК33+12–ПК43+38 | 0,85 |
| Количество автопоездов в потоке автомобилей β_4 | ПК0+00–ПК8+00 | 0,94 |
| | ПК30+00–ПК33+00 | 0,94 |
| | ПК43+00–ПК49+51 | 0,94 |
| Продольный уклон β_5 | ПК0+00-ПК1+00 | 1,0 |
| | ПК1+00-ПК3+00 | 1,0 |
| | ПК3+00-ПК6+00 | 1,0 |
| | ПК6+00-ПК8+00 | 1,0 |
| | ПК8+00-ПК10+00 | 0,91 |
| | ПК10+00-ПК14+00 | 0,84 |
| | ПК14+00-ПК17+00 | 0,9 |
| | ПК17+00-ПК21+00 | 0,84 |
| | ПК21+00-ПК24+00 | 0,95 |
| | ПК24+00-ПК27+00 | 0,97 |
| | ПК27+00-ПК30+00 | 0,97 |
| | ПК30+00-ПК33+00 | 1,0 |
| | ПК33+00-ПК37+00 | 0,96 |
| | ПК37+00-ПК43+00 | 0,94 |
| ПК43+00-ПК47+00 | 1,0 | |
| ПК47+00-ПК49+51 | 1,0 | |

Окончание таблицы 6.9

| Название частного коэффициента | Интервал | Значение частного коэффициента |
|---|-----------------|--------------------------------|
| Расстояние видимости β_6 | ПК0+35–ПК1+65 | 0,90 |
| | ПК15+88–ПК24+03 | 0,90 |
| | ПК24+33–ПК31+70 | 0,90 |
| | ПК29+30–ПК30+70 | 0,90 |
| Кривые в плане β_7 | ПК18+08–ПК21+83 | 1,0 |
| | ПК26+53–ПК29+50 | 1,0 |
| Ограничение скорости движения дорожными знаками β_8 | ПК15+38–ПК24+53 | 1,0 |
| | ПК23+38–ПК32+20 | 1,0 |
| Пересечения в одном уровне β_9 | нет пересечений | 1,0 |
| Состояние обочин β_{10} | вся трасса | 0,99 |
| Тип покрытия β_{11} | вся трасса | 1,0 |
| Расположение сервиса β_{12} | вся трасса | 1,0 |
| Разметка проезжей части β_{13} | вся трасса | 1,05 |
| Наличие указателя полос движения β_{14} | вся трасса | 1,0 |
| Количество автобусов в транспортном потоке β_{15} | вся трасса | 0,78 |

Строим эпюру пропускной способности для второго варианта трассы по полученным коэффициентам снижения загрузки.

Путем перемножения частных коэффициентов находим итоговые коэффициенты снижения пропускной способности на всех участках трассы по формуле (6.13), вычисляем пропускную способность по формуле (6.12) и по формуле (6.14) определяем уровни загрузки и вписываем их в таблицу 6.10.

Таблица 6.10 – Расчет пропускной способности и уровней загрузки для второго варианта трассы

| № участка | Границы | Итоговый коэффициент β | Пропускная способность P_ϕ | Уровень загрузки z |
|-----------|-------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| 1 | ПК0+00 – ПК0+35 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 2 | ПК0+35 – ПК1+00 | 0,46 | 920 | 0,16 |
| 3 | ПК1+00 – ПК1+65 | 0,46 | 920 | 0,16 |
| 4 | ПК1+65 – ПК1+75 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 5 | ПК1+75 – ПК3+00 | 0,44 | 880 | 0,17 |
| 6 | ПК3+00 – ПК3+27 | 0,44 | 880 | 0,17 |
| 7 | ПК3+27 – ПК5+15 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 8 | ПК5+15 – ПК6+00 | 0,44 | 880 | 0,17 |
| 9 | ПК6+00 – ПК8+00 | 0,44 | 880 | 0,17 |
| 10 | ПК8+00 – ПК9+82 | 0,43 | 860 | 0,17 |
| 11 | ПК9+82 – ПК10+00 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 12 | ПК10+00 – ПК14+00 | 0,47 | 940 | 0,16 |
| 13 | ПК14+00 – ПК15+38 | 0,53 | 1060 | 0,14 |
| 14 | ПК15+38 – ПК15+88 | 0,53 | 1060 | 0,14 |
| 15 | ПК15+88 – ПК17+00 | 0,48 | 960 | 0,16 |
| 16 | ПК17+00 – ПК18+08 | 0,44 | 880 | 0,17 |

Окончание таблицы 6.10

| № участка | Границы | Итоговый коэффициент β | Пропускная способность P_{ϕ} | Уровень загрузки z |
|-----------|-------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 17 | ПК18+08 – ПК21+00 | 0,44 | 880 | 0,17 |
| 18 | ПК21+00 – ПК21+83 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 19 | ПК21+83 – ПК24+00 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 20 | ПК24+00 – ПК24+03 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 21 | ПК24+03 – ПК24+33 | 0,57 | 1140 | 0,13 |
| 22 | ПК24+33 – ПК24+53 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 23 | ПК24+53 – ПК25+65 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 24 | ПК25+66 – ПК26+13 | 0,44 | 880 | 0,17 |
| 25 | ПК26+13 – ПК26+53 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 26 | ПК26+53 – ПК27+00 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 27 | ПК27+00 – ПК29+50 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 28 | ПК29+50 – ПК30+00 | 0,51 | 1020 | 0,15 |
| 29 | ПК30+00 – ПК31+70 | 0,47 | 940 | 0,16 |
| 30 | ПК31+70 – ПК31+85 | 0,52 | 1040 | 0,14 |
| 31 | ПК31+85 – ПК32+09 | 0,43 | 860 | 0,17 |
| 32 | ПК32+09 – ПК32+20 | 0,52 | 1040 | 0,14 |
| 33 | ПК32+20 – ПК33+00 | 0,52 | 1040 | 0,14 |
| 34 | ПК33+00 – ПК33+12 | 0,48 | 960 | 0,16 |
| 35 | ПК33+12 – ПК37+00 | 0,47 | 940 | 0,16 |
| 36 | ПК37+00 – ПК43+00 | 0,47 | 940 | 0,16 |
| 37 | ПК43+00 – ПК43+38 | 0,43 | 860 | 0,17 |
| 38 | ПК43+38 – ПК44+92 | 0,52 | 1040 | 0,14 |
| 39 | ПК44+92 – ПК46+67 | 0,43 | 860 | 0,17 |
| 40 | ПК46+67 – ПК47+00 | 0,52 | 1040 | 0,14 |
| 41 | ПК47+00 – ПК49+51 | 0,48 | 960 | 0,16 |

По найденным значениям строим график пропускной способности и уровня загрузки. Они приведены на листе номер 2 в графической части выпускной квалификационной работы.

6.4 Техничко-экономическое сравнение вариантов трассы

Техничко-экономическое сравнение вариантов трассы проводится по трем группам показателей:

- технико-эксплуатационные;
- стоимость строительства;
- экономическая эффективность.

К технико-эксплуатационным показателям относятся:

- коэффициент удлинения трассы;
- относительная средняя величина углов поворота;
- относительный средний радиус закругления;
- средний коэффициент безопасности;
- средневзвешенный коэффициент аварийности;
- относительная среднетехническая скорость транспортного потока;
- относительное время доставки грузов.

Коэффициент удлинения трассы определяется по формуле:

$$K_{\text{удл.}} = \frac{L_{\text{тр.}}}{L_{\text{в.л.}}}, \quad (6.15)$$

где $L_{\text{тр}}$ – длина варианта трассы, м;

$L_{\text{в.л.}}$ – длина трассы по воздушной линии, м.

Так коэффициент удлинения трассы для первого и второго варианта соответственно равен:

$$K_{\text{удл.}}^I = \frac{5037,6}{4837,07} = 1,04,$$

$$K_{\text{удл.}}^{II} = \frac{4950,51}{4837,07} = 1,02.$$

Плавность трассы характеризуется относительной средней величиной углов поворота. Углы поворота сначала переводятся в градусы, а потом в радианы.

Углы поворота первого варианта трассы:

$$\text{ВУ } 1 = 14^\circ 25' 51'' = 14^\circ 25 \frac{51}{60} = 14^\circ 25,85' = 14^\circ \frac{25,85'}{60} = 14,43^\circ,$$

$$\text{ВУ } 2 = 28^\circ 32' 19'' = 28^\circ 32 \frac{19}{60} = 28^\circ 32,32' = 28^\circ \frac{32,32'}{60} = 28,54^\circ,$$

$$\text{ВУ } 3 = 10^\circ 47' 08'' = 10^\circ 47 \frac{8}{60} = 10^\circ 47,13' = 10^\circ \frac{47,13'}{60} = 10,79^\circ.$$

Углы поворота второго варианта трассы:

$$\text{ВУ } 1 = 35^\circ 27' 10'' = 35^\circ 27 \frac{10}{60} = 35^\circ 27,167' = 35^\circ \frac{27,167'}{60} = 35,45^\circ,$$

$$\text{ВУ } 2 = 39^\circ 47' 13'' = 39^\circ 47 \frac{13}{60} = 39^\circ 47,22' = 39^\circ \frac{47,22'}{60} = 39,79^\circ.$$

Для перевода значений углов поворота в радианы необходимо воспользоваться формулой:

$$\text{rad}_i = \frac{a_i \cdot \pi}{180}, \quad (6.16)$$

где a_i – n -й угол поворота.

Значения углов поворота первого варианта трассы в радианах:

$$\text{rad}_1 = \frac{14,43^\circ \cdot \pi}{180} = 0,25 \text{ рад,}$$

$$rad_2 = \frac{28,54^\circ \cdot \pi}{180} = 0,5 \text{ рад,}$$

$$rad_3 = \frac{10,79^\circ \cdot \pi}{180} = 0,18 \text{ рад.}$$

Значения углов поворота второго варианта трассы в радианах:

$$rad_1 = \frac{35,45^\circ \cdot \pi}{180} = 0,62 \text{ рад,}$$

$$rad_2 = \frac{39,79^\circ \cdot \pi}{180} = 0,694 \text{ рад.}$$

Относительная средняя величина углов поворота определяется по формуле:

$$r_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n rad_i}{L_{\text{тр}}}, \quad (6.17)$$

где N – количество углов;

rad_i – величина угла поворота, радианы;

$L_{\text{тр}}$ – то же, что в формуле (6.15).

Средняя величина углов поворота для первого варианта трассы:

$$r_{\text{ср}} = \frac{0,25+0,5+0,18}{5037,6} = 1,85 \cdot 10^{-4}.$$

Средняя величина углов поворота для второго варианта трассы:

$$r_{\text{ср}} = \frac{0,62+0,694}{4950,51} = 2,65 \cdot 10^{-4}.$$

Относительный средний радиус закругления определяется по формуле:

$$R_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{\sum_{i=1}^n rad_i}, \quad (6.18)$$

где K_i – полные кривые, включающие в себя круговую кривую и две переходных кривых, м.

Средняя величина закругления для первого варианта трассы:

$$R_{\text{ср}} = \frac{471,72+737,86+428,23}{0,25+0,5+0,18} = 1761,1 \frac{\text{м}}{\text{рад}}$$

Средняя величина закругления для второго варианта трассы:

$$R_{\text{ср}} = \frac{734,72+656,47}{0,62+0,694} = 1058,74 \frac{\text{м}}{\text{рад}}$$

Переходим к определению среднего коэффициента безопасности. Сначала вычисляются средневзвешенные коэффициенты безопасности в прямом и обратном направлении соответственно по формулам:

$$\bar{K}_{\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^{M_{\text{без}}} K_{\text{без},i} \cdot l_i}{L_{\text{тр}}}, \quad (6.19)$$

$$\bar{K}_{\text{об}} = \frac{\sum_{i=1}^{M_{\text{без}}} K_{\text{без},i} \cdot l_i}{L_{\text{тр}}}, \quad (6.20)$$

где $K_{\text{без},i}$ – i -й коэффициент безопасности на i -м участке;

l_i – длина i -го участка, м;

$M_{\text{без}}$ – количество участков.

Средневзвешенный коэффициент безопасности первого варианта трассы в прямом и обратном направлении:

$$\bar{K}_{\text{пр}} = \frac{300 \cdot 1 + 800 \cdot 1 + 900 \cdot 0,66 + 500 \cdot 1 + 600 \cdot 1 + 600 \cdot 1 + 600 \cdot 1 + 400 \cdot 1 + 337,6 \cdot 1}{5037,6} = 0,94,$$

$$\bar{K}_{\text{об}} = \frac{337,6 \cdot 1 + 400 \cdot 0,99 + 600 \cdot 0,98 + 600 \cdot 1 + 600 \cdot 1 + 500 \cdot 1 + 900 \cdot 1 + 800 \cdot 1 + 300 \cdot 1}{5037,6} = 0,99.$$

Средневзвешенный коэффициент безопасности второго варианта трассы в прямом и обратном направлении:

$$\begin{aligned} \bar{K}_{\text{пр}} &= \frac{100 \cdot 0,99 + 200 \cdot 1 + 300 \cdot 1 + 200 \cdot 1 + 100 \cdot 1 + 100 \cdot 0,95 + 400 \cdot 0,66 + 300 \cdot 0,91 + 400 \cdot 0,9 +}{4950,51} = \\ &= \frac{+300 \cdot 1 + 300 \cdot 1 + 200 \cdot 1 + 100 \cdot 0,99 + 300 \cdot 1 + 400 \cdot 1 + 600 \cdot 1 + 400 \cdot 1 + 250,51 \cdot 1}{4950,51} = 0,96, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{K}_{\text{об}} &= \frac{250,51 \cdot 1 + 400 \cdot 1 + 600 \cdot 0,88 + 400 \cdot 0,87 + 300 \cdot 1 + 100 \cdot 1 + 200 \cdot 1 + 300 \cdot 1 + 300 \cdot 1 +}{4950,51} = \\ &= \frac{+400 \cdot 1 + 300 \cdot 1 + 400 \cdot 1 + 100 \cdot 1 + 100 \cdot 1 + 200 \cdot 1 + 300 \cdot 1 + 200 \cdot 1 + 100 \cdot 1}{4950,51} = 0,97. \end{aligned}$$

Следующим шагом является средний между средневзвешенными коэффициентами безопасности в прямом и обратном направлении коэффициент безопасности по формуле:

$$\bar{K}_{\text{без}} = \frac{\bar{K}_{\text{пр}} + \bar{K}_{\text{об}}}{2} \quad (6.21)$$

где $\bar{K}_{\text{пр}}$ и $\bar{K}_{\text{об}}$ – то же, что в формулах (6.19) и (6.20).

Определяем средневзвешенный коэффициент загрузки по формуле:

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^{M_{\text{загр}}} z_i \cdot l_i}{L_{\text{тр}}} \quad (6.22)$$

где z_i – уровень загрузки на i -м участке;

l_i – то же, что в формуле (6.20);

$M_{\text{загр}}$ – количество участков.

Средневзвешенный коэффициент загрузки для первого варианта трассы:

$$\begin{aligned} \bar{z} &= \frac{300 \cdot 0,14 + 257 \cdot 0,15 + 393 \cdot 0,17 + 150 \cdot 0,16 + 284 \cdot 0,19 + 100 \cdot 0,21 + 200 \cdot 0,21 + 121 \cdot 0,17 + 41 \cdot 0,21 +}{5037,6} = \\ &= \frac{+100 \cdot 0,21 + 54 \cdot 0,19 + 233 \cdot 0,17 + 225 \cdot 0,15 + 42 \cdot 0,16 + 178,58 \cdot 0,16 + 325,42 \cdot 0,16 + 52 \cdot 0,19 + 44 \cdot 0,19 +}{5037,6} = \\ &= \frac{+106 \cdot 0,19 + 70 \cdot 0,16 + 365 \cdot 0,14 + 59 \cdot 0,16 + 160,17 \cdot 0,16 + 69,84 \cdot 0,16 + 136 \cdot 0,16 + 84 \cdot 0,19 +}{5037,6} = \\ &= \frac{+150 \cdot 0,17 + 93 \cdot 0,17 + 307 \cdot 0,14 + 337,6 \cdot 0,15}{5037,6} = \frac{829,05}{5037,6} = 0,164. \end{aligned}$$

Средневзвешенный коэффициент загрузки для второго варианта трассы:

$$\begin{aligned} \bar{z} &= \frac{35 \cdot 0,15 + 65 \cdot 0,16 + 65 \cdot 0,16 + 10 \cdot 0,15 + 125 \cdot 0,17 + 27 \cdot 0,17 + 188 \cdot 0,15 + 85 \cdot 0,17 + 200 \cdot 0,17 +}{4950,51} = \\ &= \frac{+182 \cdot 0,17 + 18 \cdot 0,15 + 400 \cdot 0,16 + 138 \cdot 0,14 + 50 \cdot 0,14 + 112 \cdot 0,16 + 108 \cdot 0,17 + 40 \cdot 0,15 + 82,75 \cdot 0,15 +}{4950,51} = \\ &= \frac{+292,26 \cdot 0,17 + 217 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,17 + 30 \cdot 0,13 + 20 \cdot 0,15 + 113 \cdot 0,15 + 47 \cdot 0,17 + 38 \cdot 0,17 + 47 \cdot 0,15 +}{4950,51} = \\ &= \frac{+250 \cdot 0,15 + 50 \cdot 0,15 + 170 \cdot 0,16 + 17,66 \cdot 0,14 + 21,34 \cdot 0,17 + 11 \cdot 0,14 + 80 \cdot 0,14 + 12 \cdot 0,16 +}{4950,51} = \\ &= \frac{+388 \cdot 0,16 + 600 \cdot 0,16 + 154 \cdot 0,14 + 175,43 \cdot 0,17 + 32,57 \cdot 0,14 + 250,51 \cdot 0,16}{4950,51} = \frac{783,85}{4950,51} = 0,158. \end{aligned}$$

Определяем средневзвешенный коэффициент аварийности по формуле:

$$\bar{K}_{\text{ав}} = \frac{\sum_{i=1}^{M_{\text{ав}}} K_{\text{ит},i} \cdot l_i}{L_{\text{тр}}}, \quad (6.23)$$

где $K_{\text{ит},i}$ – итоговый коэффициент аварийности на i -м участке, значение принимается для самого аварийного периода года;

l_i – то же, что в формуле (6.20);

$M_{\text{ав}}$ – количество участков.

Средневзвешенный коэффициент аварийности первого варианта трассы:

$$\begin{aligned} \bar{K}_{\text{ав}} &= \frac{300 \cdot 2,95 + 800 \cdot 2,95 + 384 \cdot 6,63 + 100 \cdot 18,94 + 142 \cdot 23,7 + 120 \cdot 18,94 + 154 \cdot 6,63 + 500 \cdot 4,07 +}{5037,6} = \\ &= \frac{+58 \cdot 3,04 + 120 \cdot 8,68 + 378 \cdot 10,87 + 44 \cdot 8,68 + 76 \cdot 8,42 + 524 \cdot 2,95 + 41 \cdot 2,95 + 120 \cdot 8,42 + 69 \cdot 10,52 +}{5037,6} = \end{aligned}$$

$$= \frac{+120 \cdot 8,42 + 250 \cdot 2,95 + 400 \cdot 2,95 + 337,6 \cdot 2,95}{5037,6} = 5,97.$$

Средневзвешенный коэффициент аварийности второго варианта трассы:

$$\begin{aligned} \bar{K}_{\text{ав}} &= \frac{35 \cdot 2,94 + 65 \cdot 8,41 + 65 \cdot 8,41 + 135 \cdot 2,94 + 300 \cdot 2,94 + 200 \cdot 2,94 + 200 \cdot 6,06 + 400 \cdot 7,5 + 288 \cdot 6,62 +}{4950,51} = \\ &= \frac{+12 \cdot 17,9 + 108 \cdot 19,43 + 294,55 \cdot 27,77 + 80,45 \cdot 21,76 + 120 \cdot 15,22 + 97 \cdot 5,32 + 133 \cdot 3,53 +}{4950,51} = \\ &= \frac{+120 \cdot 10,10 + 47 \cdot 16,16 + 250 \cdot 13,86 + 70 \cdot 8,41 + 50 \cdot 8,66 + 230 \cdot 2,94 + 400 \cdot 3,62 + 600 \cdot 3,09 +}{4950,51} = \\ &= \frac{+400 \cdot 2,94 + 250,51 \cdot 2,94}{4950,51} = 7,39. \end{aligned}$$

Переходим к определению среднетехнической скорости движения. Принимаем за среднюю скорость транспортного потока скорость движения расчетного автомобиля. Сначала определяется средняя скорость движения в прямом и обратном направлении соответственно по формулам:

$$\bar{V}_{\text{пр}} = \frac{\Omega_{\text{пр}}}{L_{\text{тр}}}, \quad (6.24)$$

$$\bar{V}_{\text{об}} = \frac{\Omega_{\text{об}}}{L_{\text{тр}}}, \quad (6.25)$$

где $\Omega_{\text{пр}}$ и $\Omega_{\text{об}}$ – площади под эпюрами скорости расчетного автомобиля в прямом и обратном направлении соответственно, км²/ч.

Средняя скорость движения в прямом и обратном направлении для первого варианта трассы:

$$\begin{aligned} \bar{V}_{\text{пр}} &= \frac{357,26}{5,0376} = 70,92 \frac{\text{км}}{\text{ч}}, \\ \bar{V}_{\text{об}} &= \frac{400,74}{5,0376} = 79,55 \frac{\text{км}}{\text{ч}}. \end{aligned}$$

Средняя скорость движения в прямом и обратном направлении для второго варианта трассы:

$$\begin{aligned} \bar{V}_{\text{пр}} &= \frac{338,95}{4,95051} = 68,45 \frac{\text{км}}{\text{ч}}, \\ \bar{V}_{\text{об}} &= \frac{380,39}{4,95051} = 76,84 \frac{\text{км}}{\text{ч}}. \end{aligned}$$

Следующий шаг – определение среднетехнической скорости (осредненная по обоим направлениям) по формуле:

$$\bar{V}_{\text{ср.т.}} = \frac{\bar{V}_{\text{пр}} + \bar{V}_{\text{об}}}{2} \quad (6.26)$$

Среднетехническая скорость движения для первого варианта трассы:

$$\bar{V}_{\text{ср.т.}} = \frac{70,92+79,55}{2} = 75,24 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

Среднетехническая скорость движения для второго варианта трассы:

$$\bar{V}_{\text{ср.т.}} = \frac{68,45+76,84}{2} = 72,65 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

Определяют среднетехническую скорость, отнесенную к расчетной, по формуле:

$$\bar{V}_{\text{тн.ср.т.}} = \frac{\bar{V}_{\text{р.т.}}}{V_p} \quad (6.27)$$

где $\bar{V}_{\text{р.т.}}$ – то же, что в формуле (6.26);

V_p – расчетная скорость движения расчетного автомобиля, км/ч.

Среднетехническая скорость, отнесенная к расчетной, для первого варианта трассы:

$$\bar{V}_{\text{тн.ср.т.}} = \frac{75,24}{80} = 0,94.$$

Среднетехническая скорость, отнесенная к расчетной, для второго варианта трассы:

$$\bar{V}_{\text{тн.ср.т.}} = \frac{72,65}{80} = 0,91.$$

Время доставки грузов определяется как среднее значение между временем доставки в прямом и обратном направлении. Время доставки грузов в прямом и обратном направлении определяется по формулам:

$$t_{\text{пр}} = \frac{L_{\text{тр}}}{\bar{V}_{\text{пр}}}, \quad (6.28)$$

$$t_{\text{об}} = \frac{L_{\text{тр}}}{\bar{V}_{\text{об}}}. \quad (6.29)$$

Время доставки груза в прямом и обратном направлении для первого варианта трассы:

$$t_{\text{пр}} = \frac{5,0376}{70,92} = 0,071 \text{ ч},$$
$$t_{\text{об}} = \frac{5,0376}{79,55} = 0,063 \text{ ч}.$$

Время доставки груза в прямом и обратном направлении для второго варианта трассы:

$$t_{\text{пр}} = \frac{4,95051}{68,45} = 0,072 \text{ ч},$$

$$t_{\text{об}} = \frac{4,95051}{76,84} = 0,064 \text{ ч}.$$

Определим среднее время доставки грузов по формуле:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{пр}} + t_{\text{об}}}{2}. \quad (6.30)$$

Среднее время доставки грузов для первого варианта трассы:

$$t_{\text{ср}} = \frac{0,071 + 0,063}{2} = 0,067 \text{ ч}.$$

Среднее время доставки грузов для второго варианта трассы:

$$t_{\text{ср}} = \frac{0,072 + 0,064}{2} = 0,068 \text{ ч}.$$

Стоимость строительства автомобильной дороги определяется по формуле:

$$K_0 = K_c + K_з, \quad (6.31)$$

где K_c – строительные затраты (сметная стоимость);

$K_з$ – стоимость земель, изъятых из сельскохозяйственных под автомобильную дорогу и ее сооружения.

Строительные затраты определяются по формуле:

$$K_c = K_{\text{ср.уд.}} \cdot L_{\text{тр}}, \quad (6.32)$$

где $K_{\text{ср.уд.}}$ – средняя (удельная) стоимость строительства 1 км дороги, для IV категории дороги составляет 200 тыс. у.е.

Строительные затраты для первого варианта трассы составляют:

$$K_c = 200 \cdot 5,0376 = 1007,52 \text{ тыс. у.е.}$$

Строительные затраты для второго варианта трассы составляют:

$$K_c = 200 \cdot 4,95051 = 990,10 \text{ тыс. у.е.}$$

Стоимость земель определяется по формуле:

$$K_3 = \frac{E_3 + K_B}{1000 \cdot E_3^2} \cdot P_{\text{ср}} \cdot S_3 \cdot L_{\text{тр}}, \quad (6.33)$$

где E_3 – коэффициент эффективности с/х производства, равный 0,08;

K_B – коэффициент интенсификации с/х производства, равный 1,2;

$P_{\text{ср}}$ – средняя ширина постоянной полосы отвода, для первого варианта составляет 66 м, для второго – 64 м;

S_3 – себестоимость 1 гектара земли, составляет 230 тыс. у.е. для Красноярского края.

Стоимость изъятых сельскохозяйственных угодий под строительство первого варианта трассы составляет:

$$K_3 = \frac{0,08 + 0,12}{1000 \cdot 0,08^2} \cdot 66 \cdot 230 \cdot 5037,6 = 2389711,5 \text{ тыс. у.е.}$$

Стоимость изъятых сельскохозяйственных угодий под строительство второго варианта трассы составляет:

$$K_3 = \frac{0,08 + 0,12}{1000 \cdot 0,08^2} \cdot 64 \cdot 230 \cdot 4950,51 = 2277234,6 \text{ тыс. у.е.}$$

Тогда стоимость строительства первого варианта трассы составляет:

$$K_0 = 1007,52 + 2389711,5 = 2390719 \text{ тыс. у.е.}$$

Стоимость строительства первого варианта трассы составляет:

$$K_0 = 990,10 + 2277234,6 = 2278225 \text{ тыс. у.е.}$$

Переходим к расчету экономической эффективности. Она оценивается по суммарным приведенным затратам:

$$P_{\text{прив}} = K_0 \cdot \frac{E_n}{E_{\text{нп}}} + \sum_{t=1}^T \frac{\Delta_t}{(1 + E_{\text{нп}})^t} \quad (6.34)$$

где K_0 – то же, что в формуле (6.31);

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений в дорожное строительство, равный 0,12–0,14;

$E_{\text{нп}}$ – коэффициент приведения разновременных затрат к базисному году, равен 0,08;

T – срок службы покрытия;

Δ_t – текущие эксплуатационные затраты на содержание автомобильной дороги, перевозки, ремонты в году t .

Текущие эксплуатационные затраты определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_t = \mathcal{E}_t^{д.э.} + \mathcal{E}_t^{д.р.} + \mathcal{E}_t^{тр} + \mathcal{E}_t^{дтп} + \mathcal{E}_t^{вр}, \quad (6.35)$$

где $\mathcal{E}_t^{д.э.}$ – ежегодные затраты на содержание дороги;

$\mathcal{E}_t^{д.р.}$ – стоимость среднего ремонта;

$\mathcal{E}_t^{тр}$ – затраты на перевозки грузов;

$\mathcal{E}_t^{дтп}$ – потери от ДТП;

$\mathcal{E}_t^{вр}$ – потери времени пассажиров в пути.

Стоимость содержания дороги определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_t^{д.э.} = 0,72\% \cdot K_0 = 0,0072 \cdot K_0. \quad (6.36)$$

Стоимость содержания первого варианта трассы составляет:

$$\mathcal{E}_t^{д.э.} = 0,0072 \cdot 2390719 = 17213,2 \text{ тыс. у.е.}$$

Стоимость содержания второго варианта трассы составляет:

$$\mathcal{E}_t^{д.э.} = 0,0072 \cdot 2278225 = 16403,2 \text{ тыс. у.е.}$$

Стоимость среднего ремонта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_t^{д.р.} = 7\% \cdot K_0 = 0,07 \cdot K_0. \quad (6.37)$$

Стоимость среднего ремонта первого варианта трассы составляет:

$$\mathcal{E}_t^{д.р.} = 0,07 \cdot 2390719 = 167350,3 \text{ тыс. у.е.}$$

Стоимость среднего ремонта второго варианта трассы составляет:

$$\mathcal{E}_t^{д.р.} = 0,07 \cdot 2278225 = 159475,8 \text{ тыс. у.е.}$$

Стоимость перевозки грузов определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_t^{тр} = T_{\text{раб}} \cdot N_{\text{пер}} \cdot L_{\text{тр}} \cdot \xi_{\text{пер}} + \frac{S_{\text{пост}} + d_{\text{т}}}{\bar{v}_{\text{р.т.}}}, \quad (6.38)$$

где $T_{\text{раб}}$ – количество рабочих дней в году, 250 дней;

$N_{\text{пер}}$ – перспективная интенсивность грузового движения, которая составляет 420 авт./сут;

$S_{\text{пер}}$ – средневзвешенные с учетом состава движения переменные расходы на 1 км пробега (топливо, износ шин, амортизация подвижного состава, техобслуживание), для дороги IV категории составляет 0,07 у. е./км;

$S_{\text{пост}}$ – постоянная составляющая (накладные расходы), для дороги IV категории составляет 0,39 у. е./ч;

$d_{\text{т}}$ – средняя тарифная ставка водителя, равная 0,54 у. е./час.

Стоимость перевозки грузов для первого варианта составляет:

$$\mathcal{E}_{\text{т}}^{\text{гр}} = 250 \cdot 420 \cdot 5,0376 \cdot \left(0,07 + \frac{0,39+0,54}{75,24}\right) = 43564,4 \text{ тыс. у.е.}$$

Стоимость перевозки грузов для второго варианта трассы составляет:

$$\mathcal{E}_{\text{т}}^{\text{гр}} = 250 \cdot 420 \cdot 4,95051 \cdot \left(0,07 + \frac{0,39+0,54}{72,65}\right) = 43040,3 \text{ тыс. у.е.}$$

Потери от ДТП определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{т}}^{\text{дтп}} = 3,65 \cdot 10^{-6} \cdot M \cdot \underset{\text{т}}{\text{П}}^{\text{ср}} \cdot \underset{\text{т}}{N} \cdot \underset{\text{тр}}{a} \cdot \underset{\text{т}}{a}, \quad (6.39)$$

где $\underset{\text{т}}{\text{П}}^{\text{ср}}$ – средние потери от одного происшествия в году t , равные 4860 у. е.;

M – коэффициент, учитывающий тяжесть потерь от ДТП, определяется по формуле (6.40);

$a_{\text{т}}$ – коэффициент, учитываемый при расчете потерь от ДТП, определяется по формуле (6.41).

$N_{\text{т}}$ – интенсивность движения в году, равная $N_{\text{пер}}$.

$$M = m_1 \cdot m_2 \dots m_{11}, \quad (6.40)$$

где $m_1 \cdot m_2 \dots m_{11}$ – коэффициенты, учитывающие тяжесть потерь.

Коэффициент, учитывающий тяжесть потерь для первого варианта трассы:

$$M = 1,2 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 1,1 \cdot 1 = 2,64.$$

Коэффициент, учитывающий тяжесть потерь для второго варианта трассы:

$$M = 1,2 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 1,1 \cdot 1 = 2,64.$$

$$a_{\text{т}} = 0,009 \cdot \bar{K}_{\text{ав}}^2 - 0,27 \bar{K}_{\text{ав}} + 34,5. \quad (6.41)$$

Коэффициент, учитываемый при расчете потерь от ДТП для первого варианта трассы:

$$a_{\text{т}} = 0,009 \cdot 5,97^2 - 0,27 \cdot 5,97 + 34,5 = 33,21.$$

Коэффициент, учитываемый при расчете потерь от ДТП для второго варианта трассы:

$$a_t = 0,009 \cdot 7,39^2 - 0,27 \cdot 7,39 + 34,5 = 32,996.$$

Тогда потери от ДТП для первого варианта трассы составляют:

$$\mathcal{E}_t^{\text{ДТП}} = 3,65 \cdot 10^{-6} \cdot 2,64 \cdot 4680 \cdot 1495 \cdot 5,0376 \cdot 33,21 = 11279,2 \text{ тыс. у.е.}$$

Потери от ДТП для второго варианта трассы составляют:

$$\mathcal{E}_t^{\text{ДТП}} = 3,65 \cdot 10^{-6} \cdot 2,64 \cdot 4680 \cdot 1495 \cdot 4,9605 \cdot 32,996 = 11012,7 \text{ тыс. у.е.}$$

Потери времени пассажиров в пути определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_t^{\text{вр}} = 0,25 \cdot T_{\text{раб}} \cdot \left[N_{\text{лег}} \cdot \frac{L_{\text{тр}}}{V_{\text{р.т.}}} \cdot P_{\text{л}} + N_{\text{авт}} \cdot \frac{L_{\text{тр}}}{V_{\text{р.т.}}} \cdot P_{\text{а}} \right], \quad (6.42)$$

где $N_{\text{лег}}$ и $N_{\text{авт}}$ – количество легковых автомобилей и автобусов соответственно в перспективной интенсивности движения;

$P_{\text{л}}$ – вместимость легкового автомобиля, 5 человек;

$P_{\text{а}}$ – вместимость автобуса, 50 человек.

Потери времени пассажиров в пути для первого варианта трассы составляют:

$$\mathcal{E}_t^{\text{вр}} = 0,25 \cdot 250 \cdot \left[708 \cdot \frac{5,0376}{75,24} \cdot 5 + 24 \cdot \frac{5,0376}{75,24} \cdot 45 \right] = 19333,1 \text{ тыс. у.е.}$$

Потери времени пассажиров в пути для второго варианта трассы составляют:

$$\mathcal{E}_t^{\text{вр}} = 0,25 \cdot 250 \cdot \left[708 \cdot \frac{4,95051}{72,65} \cdot 5 + 24 \cdot \frac{4,95051}{72,65} \cdot 45 \right] = 19675,6 \text{ тыс. у.е.}$$

Текущие эксплуатационные затраты для первого варианта трассы равны:

$$\mathcal{E}_t = 17213,2 + 167350,3 + 43564,4 + 11279,2 + 19333,1 = 258740,2 \text{ тыс. у.е.}$$

Текущие эксплуатационные затраты для второго варианта трассы равны:

$$\mathcal{E}_t = 16403,2 + 159475,8 + 43030,3 + 11012,7 + 19675,6 = 249597,6 \text{ тыс. у.е.}$$

Предварительно найдя текущие эксплуатационные затраты на строительство, переходим к расчету экономической эффективности.

Для первого варианта трассы экономическая эффективность составляет:

$$P_{\text{прив}} = 2390719 \cdot \frac{0,12}{0,08} + \sum_{t=1}^{20} \frac{258740,2}{(1+0,08)^{20}} = 3641602,2 \text{ тыс. у.е.}$$

Для второго варианта трассы экономическая эффективность составляет:

$$P_{\text{прив}} = 2278225 \cdot \frac{0,12}{0,08} + \sum_{t=1}^{20} \frac{249597,6}{(1+0,08)^{20}} = 3470899,2 \text{ тыс. у.е.}$$

Тогда для $P_{\text{прив}}$ можно оценить верхнюю границу по неравенству:

$$P_{\text{прив}} < K_0 \cdot \frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{нп}}} + 20 \cdot \mathcal{E} \cdot \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+E_{\text{нп}})^t}, \quad (6.43)$$

где $\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+E_{\text{нп}})^t} = \frac{1}{(1+E_{\text{нп}})^1} + \frac{1}{(1+E_{\text{нп}})^2} + \dots + \frac{1}{(1+E_{\text{нп}})^{20}} = 9,37.$

Для первого варианта верхняя граница составляет:

$$3641602,2 < 2390719 \cdot \frac{0,12}{0,08} + 20 \cdot 258740,2 \cdot 9,37 = 52073992 \text{ тыс. у.е.}$$

Для второго варианта верхняя граница составляет:

$$3470899,2 < 2278225 \cdot \frac{0,12}{0,08} + 20 \cdot 249597,6 \cdot 9,37 = 50191928 \text{ тыс. у.е.}$$

Для наглядного сравнения результаты проведенных расчетов вносим в таблицу 6.11.

Таблица 6.11 – Сравнение вариантов трассы по показателям

| Вид показателя | Наименование | Ед. изм. | I вар. | II вар. |
|--------------------------|---|----------|----------------------|----------------------|
| Технико-эксплуатационные | Коэффициент удлинения трассы | - | 1,04 | 1,02 |
| | Относительная средняя величина углов поворота | рад/м | $1,84 \cdot 10^{-4}$ | $2,65 \cdot 10^{-4}$ |
| | Относительный средний радиус закругления | м/рад | 1761,1 | 1058,74 |
| | Средний коэффициент безопасности | - | 0,965 | 0,965 |
| | Средневзвешенный уровень загрузки | - | 0,164 | 0,158 |
| | Средневзвешенный коэффициент аварийности | - | 5,97 | 7,39 |

Окончание таблицы 6.11

| Вид показателя | Наименование | Ед. изм. | I вар. | II вар. |
|----------------|--------------|----------|--------|---------|
|----------------|--------------|----------|--------|---------|

| | | | | |
|-----------------------------|---|----------|----------|----------|
| | Относительная среднетехническая скорость транспортного потока | - | 0,94 | 0,91 |
| Стоимость строительства | | тыс.у.е. | 2390719 | 2278225 |
| Экономическая эффективность | | тыс.у.е. | 52073992 | 50191928 |

По итогам технико-экономического сравнения двух вариантов трассы делаем вывод: наиболее благоприятным для дальнейшего проектирования является первый вариант. Несмотря на высокую стоимость строительства, высокую экономическую эффективность и коэффициент удлинения трассы, остальные его показатели превосходят показатели второго варианта трассы.

7 Проектирование водопропускной трубы

7.1 Определение расчетного максимального расхода воды

Водопропускные сооружения проектируются с целью пропуска воды через тело насыпи заданной вероятности превышения. Вероятностью превышения называется вероятность превышения расчетного максимального расхода воды еще большим по значению расходом. Она нормируется в зависимости от типа искусственного сооружения и категории автомобильной дороги. Нормативные значения вероятности превышения в зависимости от категории дороги принимаются в соответствии с [5].

Труба расположена на ПК10+50.

В таблице 7.1 представлены значения вероятности превышения для малых искусственных сооружений.

Таблица 7.1 – Вероятности превышения для малых искусственных сооружений

| Категория дороги | ВП, % |
|------------------|-------|
| I | 1 |
| II, III | 2 |
| IV, V | 3 |

Так как проектируемая дорога IV категории, то вероятность превышения равна 3%.

Образующаяся вода на поверхности земли посредством ливня или таяния снегов собирается в пониженных местах с определенной территории, которая называется водосборный бассейн. Его границы – это водоразделы и существующие и проектируемые дороги. Линия, которая соединяет самые пониженные точки бассейна, называется тальвегом.

Для того, чтобы найти расчетный максимальный расход воды, необходимо определить параметры водосборного бассейна, такие как: площадь, длину и средний уклон. В выпускной работе они вычислены по цифровой модели рельефа, как характеристики полигона, границы которого намечены по водораздельным участкам и оси проектируемой дороги.

Площадь поверхности бассейна составила 0,24 км².

Длина линии тальвега, построенной с учетом направлений стока: 0,686 км.
Средний уклон бассейна и уклон тальвега определяются соответственно по формулам:

$$i = \frac{H_1 - H_0}{L}, \quad (7.1)$$

$$i_c = \frac{H_B - H_H}{100}, \quad (7.2)$$

где H_1 и H_0 – отметки рельефа в вершине бассейна и створе сооружения соответственно;

H_B и H_H – отметки дна бассейна на расстоянии 50 м от оси дороги вверх и вниз по тальвегу;

L – длина тальвега, м.

Согласно формуле (7.1), средний уклон бассейна равен:

$$i = \frac{397,34 - 356,71}{686} = 59\text{‰}.$$

Уклон тальвега у трубы равен:

$$i_c = \frac{357,00 - 354,77}{100} = 22\text{‰}.$$

В качестве расчетного максимального расхода воды необходимо принять наибольший расход из расхода ливневый и талых вод. Расход ливневых вод определяется по формуле:

$$Q_{л} = 16,7 \cdot a_{\text{час}} \cdot K_t \cdot \alpha \cdot \varphi \cdot F, \quad (7.3)$$

где $a_{\text{час}}$ – интенсивность ливня часовой продолжительности, мм/мин;

K_t – коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности к интенсивности ливня расчетной продолжительности;

α – коэффициент потерь стока;

φ – коэффициент редукции;

F – площадь бассейна, км².

Интенсивность ливня часовой продолжительности определяется по таблице 7.2 в зависимости от вероятности превышения и номера ливневого района, который, в свою очередь, определяется по карте-схеме, представленной на рисунке 7.1



Рисунок 7.1 – Карта-схема ливневых районов

Таким образом, территория проектирования автомобильной дороги относится к шестому ливневому району.

Таблица 7.2 – Интенсивность ливня часовой продолжительности

| Район | $a_{\text{час}}$, мм/мин при ВП, % | | | | | | | |
|-------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 10 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0,3 | 0,1 |
| 1 | 0,27 | 0,27 | 0,29 | 0,32 | 0,34 | 0,40 | 0,49 | 0,57 |
| 2 | 0,29 | 0,36 | 0,39 | 0,42 | 0,45 | 0,50 | 0,61 | 0,75 |
| 3 | 0,29 | 0,41 | 0,47 | 0,52 | 0,58 | 0,70 | 0,95 | 1,15 |
| 4 | 0,45 | 0,59 | 0,64 | 0,69 | 0,74 | 0,90 | 1,14 | 1,32 |
| 5 | 0,46 | 0,62 | 0,69 | 0,75 | 0,82 | 0,97 | 1,26 | 1,48 |
| 6 | 0,49 | 0,65 | 0,73 | 0,81 | 0,89 | 1,01 | 1,46 | 1,79 |
| 7 | 0,54 | 0,74 | 0,82 | 0,89 | 0,97 | 1,15 | 1,50 | 1,99 |
| 8 | 0,79 | 0,98 | 1,07 | 1,15 | 1,24 | 1,41 | 1,78 | 2,07 |
| 9 | 0,81 | 1,02 | 1,11 | 1,20 | 1,28 | 1,48 | 1,83 | 2,14 |
| 10 | 0,82 | 1,11 | 1,23 | 1,35 | 1,46 | 1,74 | 2,25 | 2,65 |

В соответствии с таблицей 7.2 интенсивность ливня часовой продолжительности равна 0,81.

Коэффициент перехода K_t определяется в зависимости от длины и уклона бассейна по таблице 7.3 с помощью интерполяции.

Таблица 7.3 – Коэффициенты перехода

| L , км | Значение K_t при уклоне бассейна i | | | | | | | |
|------------------|--|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0,0001 | 0,001 | 0,01 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,7 |
| 0,15 | 4,21 | | | | | | | |
| 0,30 | 2,57 | 3,86 | | | | | | |
| 0,50 | 1,84 | 2,76 | 3,93 | | | | | |
| Полный сток 5,24 | | | | | | | | |

Окончание таблицы 7.3

| L, км | Значение K_t при уклоне бассейна i | | | | | | | |
|-------|--|-------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,0001 | 0,001 | 0,01 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,7 |
| 0,75 | 1,41 | 2,08 | 2,97 | 4,5 | 5,05 | | | |
| 1,0 | 1,16 | 1,71 | 2,53 | 3,74 | 4,18 | 4,5 | 4,9 | 5,18 |
| 1,25 | 1,0 | 1,49 | 2,2 | 3,24 | 3,6 | 3,9 | 4,23 | 4,46 |
| 1,5 | 0,88 | 1,30 | 1,93 | 2,82 | 3,15 | 3,4 | 3,7 | 3,90 |
| 1,75 | 0,80 | 1,18 | 1,75 | 2,58 | 2,84 | 3,06 | 3,33 | 3,52 |
| 2,0 | 0,73 | 1,07 | 1,59 | 2,35 | 2,64 | 2,85 | 3,09 | 3,27 |
| 2,5 | 0,63 | 0,92 | 1,37 | 2,02 | 2,26 | 2,44 | 2,65 | 2,80 |
| 3,0 | 0,56 | 0,82 | 1,21 | 1,79 | 2,0 | 2,16 | 2,34 | 2,49 |

Так коэффициент перехода K_t равен 4,01.

Коэффициент потерь стока зависит от вида и характера поверхности дна бассейна. Определяется по таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Коэффициент потерь стока

| Вид и характер поверхности | Коэффициент α при площади F , км ² | | |
|---|--|-----------|-----------|
| | 0–1 | 1–10 | 10–100 |
| Асфальт, бетон, скала без трещин | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Жирная глина, тыкеры | 0,7–0,95 | 0,65–0,95 | 0,65–0,9 |
| Суглинки, подзолистые, тундровые и болотные почвы | 0,6–0,9 | 0,55–0,8 | 0,5–0,75 |
| Чернозем, лесс, каштановые и карбонатные почвы | 0,55–0,75 | 0,45–0,7 | 0,35–0,65 |
| Супеси, степные почвы | 0,3–0,55 | 0,2–0,5 | 0,2–0,45 |
| Песчаные, гравелистые, рыхлые и каменистые почвы | 0,2 | 0,15 | 0,10 |

Почвы района проектирования представлены черноземами. Коэффициент потерь стока определяем с помощью интерполяции. Он равен 0,6.

Коэффициент редукиции определяется из условия:

$$\varphi = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt[4]{10F}}, & \text{при } F > 0,1 \text{ км}^2, \\ 1, & \text{при } F \leq 0,1 \text{ км}^2. \end{cases} \quad (7.4)$$

где F – площадь водосборного бассейна, км².

Площадь водосборного бассейна больше 0,1 км², тогда коэффициент редукиции равен:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[4]{10 \cdot 0,24}} = 0,803.$$

Подставляем найденные коэффициенты в формулу (5.3) и определяем значение расхода ливневых вод:

$$Q_{\text{л}} = 16,7 \cdot 0,81 \cdot 4,01 \cdot 0,6 \cdot 0,803 \cdot 0,24 = 6,27 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Следующий параметр – это расход талых вод. Определяется по формуле:

$$Q_T = \frac{k_0 \cdot h_p \cdot F \cdot \delta_1 \cdot \delta_2}{(F+1)^n}, \quad (7.5)$$

где k_0 – коэффициент дружности половодья;

h_p – расчетный слой суммарного стока той же вероятности превышения, что и расчетный расход, мм;

δ_1 – коэффициент заозеренности, равный 1;

δ_2 – коэффициент залесенности и заболоченности, равный 1;

n – показатель степени.

Коэффициент дружности половодья зависит от вида местности. Определяется по таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Коэффициент дружности половодья

| Природная зона | Равнинные районы | n | k_0 |
|--------------------------------|--|------|--------|
| Тундра и лес | Европейская территория СНГ и Восточная Сибирь | 0,17 | 0,01 |
| | Западная Сибирь | 0,25 | 0,013 |
| Лесостепь и степь | Европейская территория (без Северного Кавказа) | 0,25 | 0,02 |
| | Северный Кавказ | 0,25 | 0,03 |
| | Западная Сибирь | 0,25 | 0,03 |
| Засушливая степь и полупустыня | Западный и Центральный Казахстан | 0,35 | 0,06 |
| | Центральный район | 0,35 | 0,0007 |

Таким образом, коэффициент дружности половодья равен 0,01, а показатель степени – 0,17.

По карте средних слоев талых вод определяется значение среднего многолетнего стока. Карта-схема представлена на рисунке 7.2.

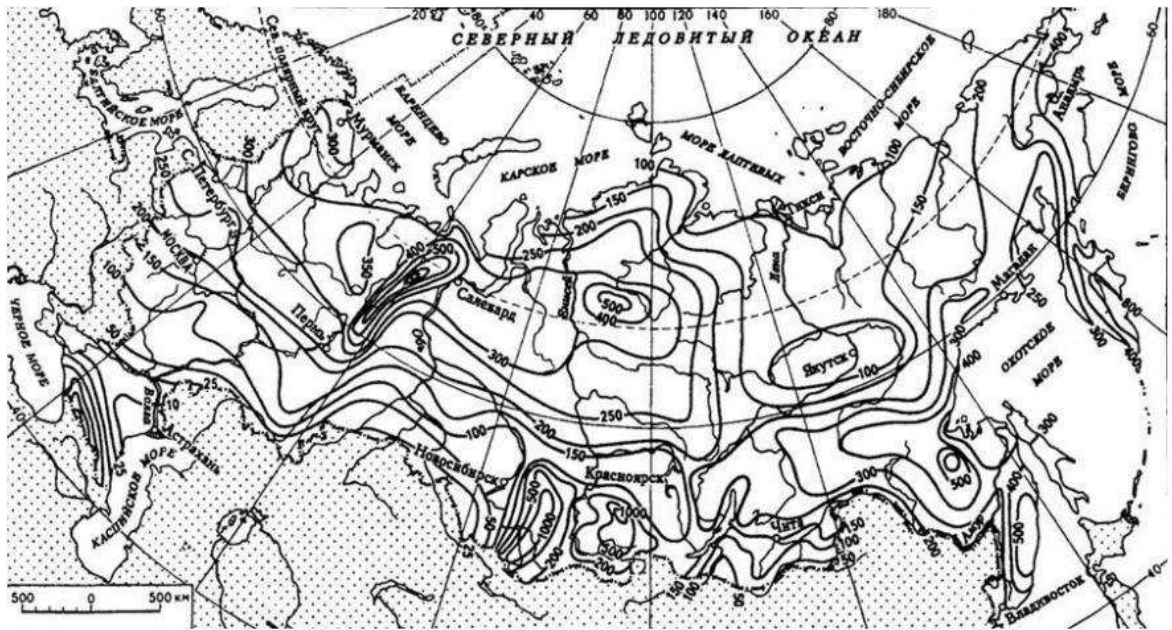


Рисунок 7.2 – Карта-схема средних слоев талых вод

Так в соответствии с рисунком 7.2 средний многолетний слой стока h' равен 200 мм.

По карте коэффициентов вариации слоев стока талых вод, представленной на рисунке 7.3, определяется значение коэффициента вариации.

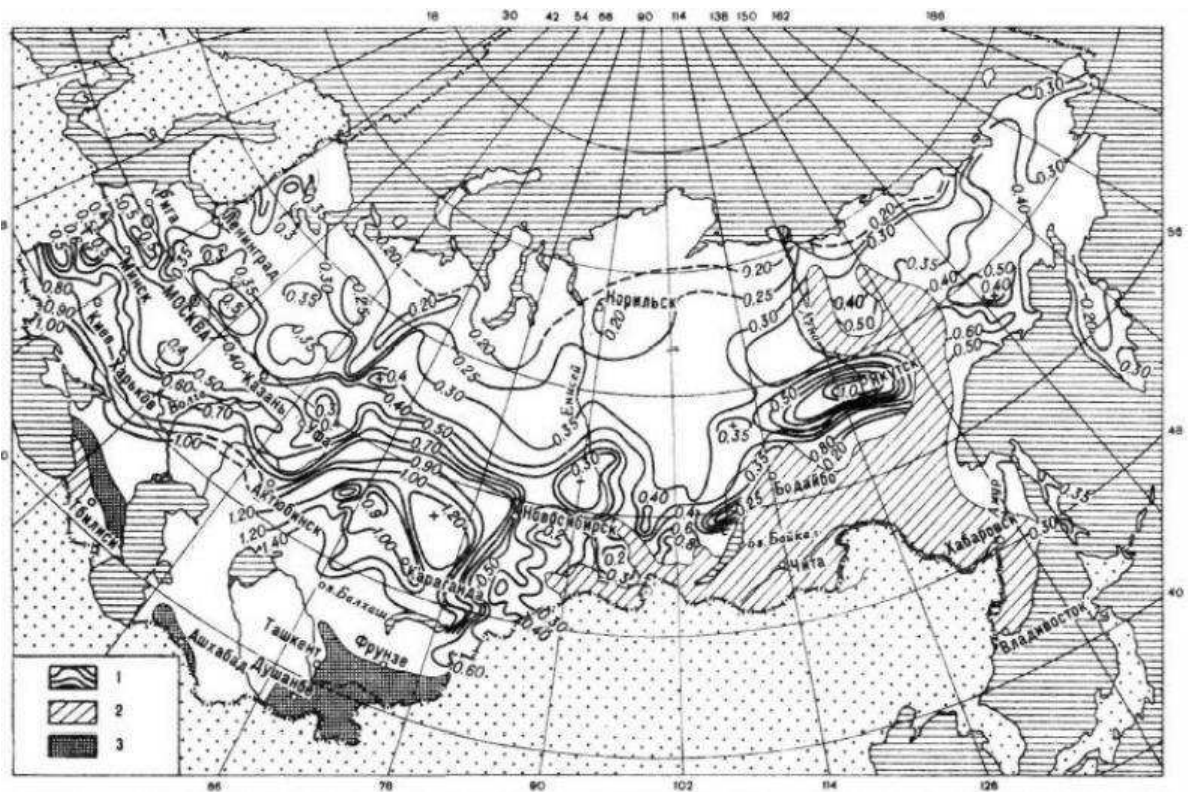


Рисунок 7.3 – Карта-схема коэффициентов вариации слоев стока талых вод

Значение коэффициента вариации слоев стока талых вод равен 0,2.

Данная карта коэффициентов вариации имеет место для водосборных бассейнов площадью более 200 км². Необходимо найденный коэффициент умножить на поправочный, который принимается по таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Поправочный коэффициент

| Площадь бассейна, км ² | $k_{\text{попр}}$ |
|-----------------------------------|-------------------|
| До 50 | 1,25 |
| 51–100 | 1,20 |
| 101–150 | 1,15 |
| 151–200 | 1,05 |

Определяем окончательный вариант коэффициент вариации слоев стока талых вод по формуле:

$$C_v = C_{v \text{ карт}} \cdot k_{\text{попр}}, \quad (7.6)$$

где $C_{v \text{ карт}}$ – коэффициент вариации слоев стока талых вод, принимаемый по рисунку 5.3;

$k_{\text{попр}}$ – поправочный коэффициент, принимаемы по таблице 7.6.

$$C_v = 0,2 \cdot 1,25 = 0,25.$$

Далее определяем коэффициент асимметрии по таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Коэффициент асимметрии

| Район проектирования | Коэффициент асимметрии |
|---|------------------------|
| Равнинные районы | $2C_v$ |
| Северо-запад и северо-восток России (обильные дожди), горные районы | $3C_v$ |

Коэффициент асимметрии принимаем равным $2C_v$.

По графику на рисунке 7.4 для величин P , C_v и C_s определяем значение модульного коэффициента слоя стока.

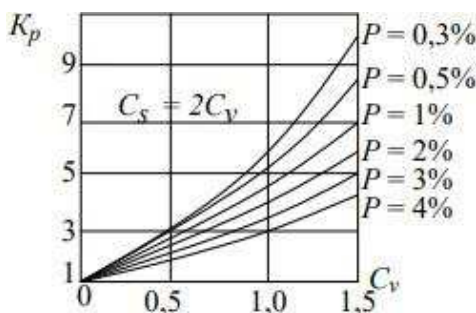


Рисунок 7.4 – Кривые модульных коэффициентов слоев стока

Модульный коэффициент слоя стока равен 2.

Далее определяется расчетный слой суммарного стока по формуле:

$$h_p = h' \cdot K_p, \quad (7.7)$$

где h' – средний многолетний слой стока, равный 200 мм;
 K_p – модульный коэффициент слоя стока, равный 2.

$$h_p = 200 \cdot 2 = 400 \text{ мм.}$$

По формуле (7.5) определяем максимальный расход талых вод:

$$Q_T = \frac{0,01 \cdot 400 \cdot 0,24 \cdot 1 \cdot 1}{(0,24+1)^{0,17}} = 0,93 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Таким образом, в качестве расчетного максимального расхода воды принимается наибольший расход из найденных по формуле:

$$Q_p = \max(Q_l, Q_T), \quad (7.8)$$

где Q_l – расход ливневых вод, $\text{м}^3/\text{с}$;
 Q_T – расход талых вод, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$Q_p = Q_l = 6,27 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

7.2 Расчет отверстия трубы

На основе полученного расчетного максимального расхода воды назначаем водопропускную трубу круглого сечения диаметром 2 м.

Критическая глубина определяется по формуле:

$$\frac{\omega_{кр}^3}{b_{кр}} = \frac{\alpha \cdot Q_p^2}{g}, \quad (7.9)$$

где $\omega_{кр}$ и $b_{кр}$ – соответственно площадь живого сечения и ширина потока поверху (свободной поверхности) при $h = h_{кр}$;

Q_p – расчетный максимальный расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

α – коэффициент Кориолиса, равный 1,1;

g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

Согласно формуле (7.9), отношение $\frac{\omega_{кр}^3}{b_{кр}}$ равно:

$$\frac{\omega_{кр}^3}{b_{кр}} = \frac{1,1 \cdot 6,27^2}{9,81} = 4,41.$$

Формула (7.9) представляет собой кривую связь между глубиной потока и расходом воды. Таким образом, расчет ведется графоаналитическим способом в таблице 7.8. В нее вносятся все возможные допустимые значения глубины водного потока h с шагом 0,1 м.

Предварительно определяется максимально допустимое значение глубины безнапорного потока воды в трубе по формуле:

$$h_{\text{пред}} = \frac{3}{4} \cdot d, \quad (7.10)$$

где d – диаметр круглой трубы, м.

Тогда $h_{\text{пред}}$ в трубе равно:

$$h_{\text{пред}} = \frac{3}{4} \cdot 2 = 1,5 \text{ м.}$$

При расчете используются формулы для определения ширины потока по свободной поверхности, смоченного периметра, площади живого сечения.

Ширина потока по свободной поверхности определяются по формуле:

$$b = 2 \cdot \sqrt{h \cdot d - h^2}, \quad (7.11)$$

где h – значение глубины, м;
 d – диаметр круглой трубы, м.

Смоченный периметр определяется по формуле:

$$l = \sqrt{b^2 + \frac{16}{3} \cdot h^2}, \quad (7.12)$$

где b – ширина потока по свободной поверхности, м;
 h – значение глубины, м.

Площадь живого сечения определяется по формуле:

$$\omega = \frac{1}{2} \cdot \left(l \cdot \frac{d}{2} - b \cdot \left(\frac{d}{2} - h \right) \right), \quad (7.13)$$

где l – смоченный периметр, м;
 d – диаметр круглой трубы, м;
 b – ширина потока по свободной поверхности, м;
 h – значение глубины, м.

Для расчетов используем программное обеспечение Microsoft Excel и заполняем таблицу 7.8.

Таблица 7.8 – Расчет критической глубины

| h , м | b , м | l , м | ω , м ² | ω^3/b , м ⁵ |
|---------|---------|---------|---------------------------|-------------------------------|
| 0,1 | 0,87 | 0,90 | 0,06 | 0,00 |
| 0,2 | 1,20 | 1,29 | 0,16 | 0,00 |
| 0,3 | 1,43 | 1,59 | 0,29 | 0,02 |
| 0,4 | 1,60 | 1,85 | 0,44 | 0,05 |
| 0,5 | 1,73 | 2,08 | 0,61 | 0,13 |
| 0,6 | 1,83 | 2,30 | 0,78 | 0,26 |
| 0,7 | 1,91 | 2,50 | 0,96 | 0,47 |
| 0,8 | 1,96 | 2,69 | 1,15 | 0,78 |
| 0,9 | 1,99 | 2,88 | 1,34 | 1,21 |
| 1,0 | 2,00 | 3,06 | 1,53 | 1,78 |
| 1,1 | 1,99 | 3,23 | 1,71 | 2,53 |
| 1,2 | 1,96 | 3,39 | 1,89 | 3,46 |
| 1,3 | 1,91 | 3,56 | 2,06 | 4,61 |
| 1,4 | 1,83 | 3,72 | 2,22 | 6,01 |
| 1,5 | 1,73 | 3,87 | 2,37 | 7,68 |

По данным таблицы 7.8 строится график зависимости $h = h\left(\frac{\omega^3}{b}\right)$, представленный на рисунке 7.5. Также, зная, что $\frac{\alpha \cdot Q^2}{g} = 4,41 \text{ м}^5$, откладываем данное значение по оси абсцисс и находим значение критической глубины по оси ординат.

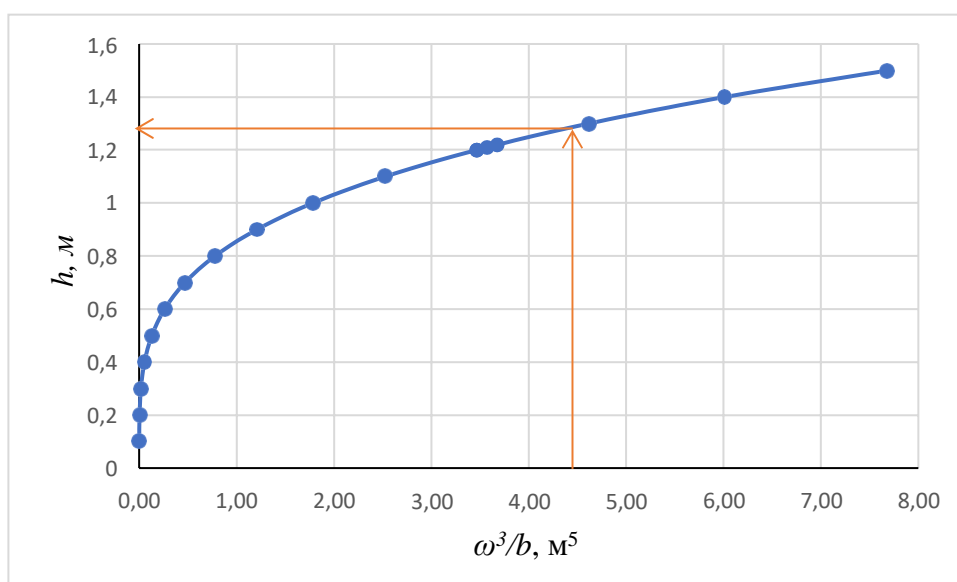


Рисунок 7.5 – Кривая связи между расходом и уровнем воды в трубе

Значение критической глубины получилось равным 1,28 м.

Делаем проверку режима течения в трубе. Используем приближенную формулу, в которой задается глубина потока в сжатом сечении:

$$h_{\text{сж}} = 0,9 \cdot h_{\text{кр}}, \quad (7.14)$$

где $h_{\text{кр}}$ – критическая глубина, м.

Тогда глубина потока в сжатом сечении равна:

$$h_{\text{сж}} = 0,9 \cdot 1,284 = 1,16 \text{ м.}$$

Далее по формулам (7.11) – (7.13) определяем ширину, смоченный периметр и площадь потока в сжатом сечении соответственно:

$$b_{\text{сж}} = 2 \cdot \sqrt{1,16 \cdot 2 - 1,16^2} = 1,97 \text{ м,}$$

$$l_{\text{сж}} = \sqrt{1,97^2 + \frac{16}{3} \cdot 1,16^2} = 3,33 \text{ м,}$$

$$\omega_{\text{сж}} = \frac{1}{2} \cdot (3,33 - 1,97 \cdot (1 - 1,16)) = 1,82 \text{ м}^2.$$

Определив все параметры в сжатом сечении, переходим к расчету напора перед трубой:

$$H = h_{\text{сж}} + \frac{Q_p^2}{2 \cdot g \cdot \varphi^2 \cdot \omega_{\text{сж}}^2}, \quad (7.15)$$

где $h_{\text{сж}}$ – глубина потока в сжатом сечении, м;

Q_p – расчетный максимальный расход воды, м³/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

φ – коэффициент скорости, равный 0,85;

$\omega_{\text{сж}}$ – площадь потока в сжатом сечении, м².

Тогда напор перед трубой равен:

$$H = 1,16 + \frac{6,27^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,85^2 \cdot 1,82^2} = 1,997 \text{ м.}$$

При безнапорном режиме течения должно выполняться следующее условие:

$$H \leq 1,2 \cdot h_{\text{тр}}, \quad (7.16)$$

где $h_{\text{тр}}$ – высота (диаметр) входного отверстия трубы, м.

Подставляем значения в условие и получаем:

$$1,997 \leq 1,2 \cdot 2,$$

$$1,997 < 2,4.$$

Условие выполняется. Водопрпускная труба работает в безнапорном режиме.

Переходим к определению критического уклона. Для критической глубины по формулам (7.11) – (7.13) определяем ширину, смоченный периметр и площадь потока соответственно:

$$b_{кр} = 2 \cdot \sqrt{1,284 \cdot 2 - 1,284^2} = 1,92 \text{ м},$$

$$l_{кр} = \sqrt{1,92^2 + \frac{16}{3} \cdot 1,284^2} = 3,53 \text{ м},$$

$$\omega_{кр} = \frac{1}{2} \cdot (3,53 - 1,92 \cdot (1 - 1,284)) = 2,04 \text{ м}^2.$$

Определяем гидравлический радиус по формуле:

$$R_{кр} = \frac{\omega_{кр}}{l_{кр}}, \quad (7.17)$$

где $\omega_{кр}$ – площадь потока для критической глубины, м^2 ;

$l_{кр}$ – смоченный периметр для критической глубины, м.

Гидравлический радиус равен:

$$R_{кр} = \frac{2,04}{3,53} = 0,58 \text{ м}.$$

Определяем коэффициент гидравлической шероховатости или коэффициент Шези по формуле:

$$C_{кр} = \frac{R_{кр}^{\frac{1}{6}}}{n}, \quad (7.18)$$

где $R_{кр}$ – гидравлический радиус, м;

n – коэффициент шероховатости, принимаемый для бетонной поверхности трубы равным от 0,012 до 0,014. В расчете примем значение 0,014.

Коэффициент Шези равен:

$$C_{кр} = \frac{0,58^{\frac{1}{6}}}{0,014} = 65,23.$$

Зная необходимые данные, определяем критический уклон по формуле:

$$i_{\text{кр}} = \frac{Q_p^2}{\omega_{\text{кр}}^2 \cdot C_{\text{кр}}^2 \cdot R_{\text{кр}}^2}, \quad (7.19)$$

где Q_p – расчетный максимальный расход воды, м³/с;
 $\omega_{\text{кр}}$ – площадь потока для критической глубины, м²;
 $C_{\text{кр}}$ – коэффициент Шези;
 $R_{\text{кр}}$ – гидравлический радиус, м.

Критический уклон равен:

$$i_{\text{кр}} = \frac{6,27^2}{2,04^2 \cdot 65,23^2 \cdot 0,58^2} = 0,0066 = 6,6\%.$$

От соотношения уклонов (критического и уклона трубы) зависит режим течения в трубе. Обычно уклон трубы принимается равным уклону лога перед сооружением, но его значение должно быть не менее 5‰ для того, чтобы обеспечить сток воды.

Уклон трубы равен 22‰, следовательно, режим течения – бурный. В таком случае скорость потока на выходе из трубы рассчитывается по формуле:

$$v_{\text{ВЫХ}} = \frac{1,21 \cdot Q_p}{\omega_{\text{сж}}}, \quad (7.20)$$

где Q_p – расчетный максимальный расход воды, м³/с;
 $\omega_{\text{кр}}$ – площадь потока для критической глубины, м².

Скорость потока на выходе из трубы равна:

$$v_{\text{ВЫХ}} = \frac{1,21 \cdot 6,27}{1,82} = 4,17 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Глубина потока на выходе из трубы определяется по формуле:

$$h_{\text{ВЫХ}} = h_{\text{сж}}, \quad (7.21)$$

где $h_{\text{сж}}$ – глубина потока в сжатом сечении, м.

Глубина потока на выходе из трубы равна:

$$h_{\text{ВЫХ}} = 1,16 \text{ м.}$$

Найденные значения скорости и глубины воды на выходе из трубы необходимы для проектирования выходного русла за трубой.

7.3 Назначение технических параметров трубы

Минимальная отметка бровки насыпи зависит от:

- глубины воды перед трубой;
- высоты отверстия трубы;
- толщины стенки круглой трубы или толщины плиты перекрытия прямоугольной трубы.

Когда режим протекания потока безнапорный, минимальное возвышение контрольной точки над дном бассейна определяется по формуле:

$$h_{min} = h_{тр} + \delta + \Delta + h_{до}, \quad (7.22)$$

где $h_{тр}$ – высота отверстия трубы, м;

δ – толщина стенки трубы, м;

Δ – минимальная высота засыпки трубы у входного оголовка, м;

$h_{до}$ – толщина дорожной одежды, м.

Толщину засыпки над трубой принимают равной 0,5 м, если считать от верха звена трубы и до низа конструкции дорожной одежды.

Толщина стенки трубы зависит от высоты насыпи и равна 0,16 м.

Толщина конструкции слоев дорожной одежды для дороги IV категории принимается равной 0,45 м.

Минимальное возвышение точки над дном бассейна равно:

$$h_{min} = 2 + 0,16 + 0,5 + 0,45 = 3,11 \text{ м.}$$

Контрольная точка проектной линии продольного профиля над трубой должна быть не менее величины, определяющейся по формуле:

$$H_{min} = H_{дн} + h_{min}, \quad (7.23)$$

где $H_{дн}$ – отметка рельефа в створе трубы, м.

Контрольная точка над трубой на ПК10+50 и ПК47+00 соответственно равна:

$$H_{min} = 356,71 + 3,11 = 359,82 \text{ м,}$$

$$H_{min} = 415,09 + 3,11 = 418,20 \text{ м.}$$

Переходим к расчету длины трубы. Данный параметр зависит от высоты насыпи, ширины земляного полотна, крутизны откоса насыпи и угла между осью дороги и осью трубы. Высота насыпи принимается по рабочей отметке на пикете расположения трубы.

Заложение откоса насыпи зависит от категории дороги, высоты насыпи, грунта земляного полотна и влажности климата.

Угол между осью дороги и осью трубы – это угол между тальвегом и осью дороги. Его значение принимается от 90° до 60° . В выпускной работе этот угол составляет 73° .

При рабочей отметке до 6 м длина трубы без оголовков определяется по формуле:

$$l = \left[\frac{0,5 \cdot B + m \cdot (h_{\text{н}} - h_{\text{тр}})}{1 + m \cdot i_{\text{тр}}} + \frac{0,5 \cdot B + m \cdot (h_{\text{н}} - h_{\text{тр}})}{1 - m \cdot i_{\text{тр}}} + m_0 \right] \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \quad (7.24)$$

где B – ширина земляного полотна, м;

m – заложение откоса насыпи при высоте до 6 м;

$i_{\text{тр}}$ – уклон трубы, принимаемый равным уклону бассейна перед сооружением;

m_0 – толщина стенки оголовка, равная 0,35 м;

α – угол между осями дороги и трубы, $^\circ$.

$$l = \left[\frac{0,5 \cdot 10 + 1,5 \cdot (3,29 - 2)}{1 + 1,5 \cdot 0,022} + \frac{0,5 \cdot 10 + 1,5 \cdot (3,29 - 2)}{1 - 1,5 \cdot 0,022} + 0,35 \right] \cdot \frac{1}{\sin 73^\circ} = 14,88 \text{ м.}$$

Полная длина трубы определяется по формуле:

$$L_{\text{тр}} = l + 2 \cdot l_{\text{огол}}, \quad (7.25)$$

где $l_{\text{огол}}$ – длина оголовков, равная 3,66 м.

Длина трубы равна:

$$L_{\text{тр}} = 14,88 + 2 \cdot 3,66 = 22,2 \text{ м.}$$

Следующим этапом является проектирование укреплений за трубой. Тип укрепления подбирают в зависимости от скорости потока. По размерам отверстия трубы назначают длину укрепления. За трубой она должна находиться в пределах:

$$l_{\text{укр}} = (3 \div 4) \cdot b, \quad (7.26)$$

где b – диаметр круглой трубы.

Следовательно длина укрепления равна:

$$l_{\text{укр}} = 3 \cdot b = 6 \text{ м.}$$

Переходим к определению глубины размыва. Для начала определяется параметр a по формуле:

$$a = \frac{l_{\text{укр}} \cdot \operatorname{tg} \alpha}{b}, \quad (7.27)$$

где α – угол растекания воды, не превышающий 45° ;
 $l_{\text{укр}}$ – длина укрепления за трубой, равная 6 м.

Значение параметра a равно:

$$a = \frac{6 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ}{2} = 3.$$

Для параметра a определяем значение параметра Δh из таблицы 7.9.

Таблица 7.9 – Значение Δh в зависимости от параметра a

| | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| a | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 8 | 10 |
| Δh | 1,55 | 0,98 | 0,78 | 0,65 | 0,59 | 0,54 | 0,45 | 0,4 |

Исходя из таблицы 7.9 параметр $\Delta h = 0,65$.

Глубина размыва определяется по формуле:

$$h_{\text{разм}} = \Delta h \cdot H, \quad (7.28)$$

где H – напор перед трубой, м.

$$h_{\text{разм}} = 0,65 \cdot 1,997 = 1,3 \text{ м.}$$

Глубина заложения предохранительного откоса определяется по формуле:

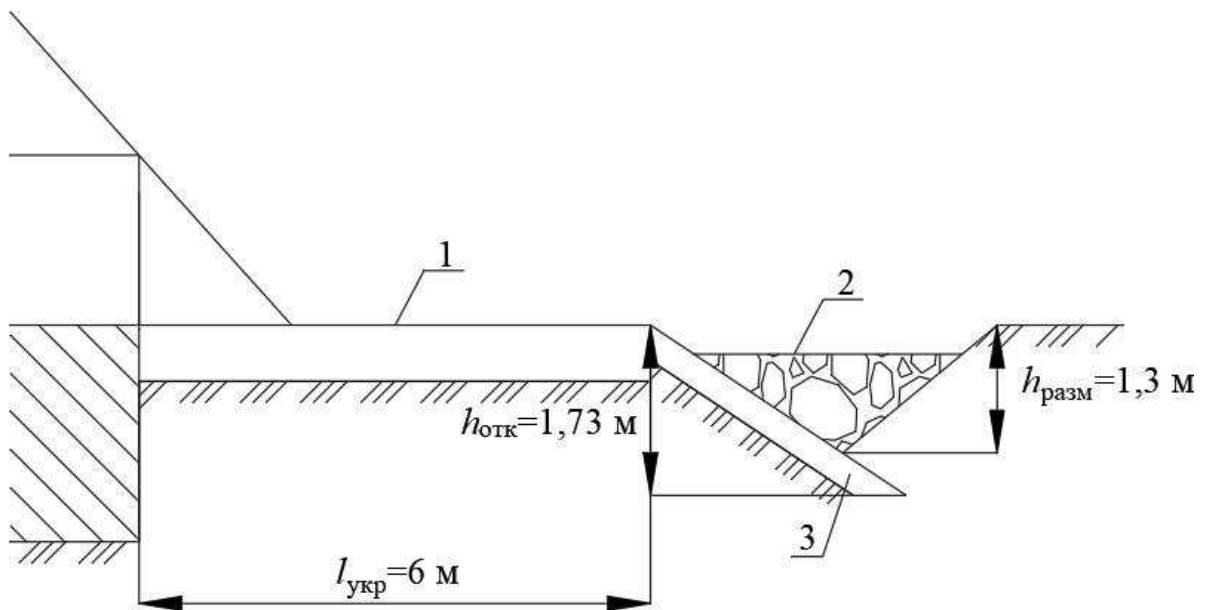
$$h_{\text{отк}} = \frac{4}{3} \cdot h_{\text{разм}}, \quad (7.29)$$

где $h_{\text{разм}}$ – глубина размыва, м.

Тогда глубина заложения откоса равна:

$$h_{\text{отк}} = \frac{4}{3} \cdot 1,3 = 1,73 \text{ м.}$$

Схема укрепления выходного русла представлена на рисунке 7.6.



1 – укрепление за трубой; 2 – каменная наброска в ковше размыва; 3 – предохранительный откос

Рисунок 7.6 – Схема укрепления выходного русла

Следующий этап – проектирование линии продольного профиля.

8 Автоматизированное проектирование продольного профиля дороги

8.1 Определение контрольных точек проектной линии

Контрольные точки определяются по формулам (5.7) – (5.10).

Контрольная отметка в начале трассы:

$$H_{нт} = 360,30 + 1,2 = 361,5 \text{ м.}$$

Контрольная отметка в конце трассы:

$$H_{кт} = 418,00 + 1,2 = 419,20 \text{ м.}$$

Контрольная отметка над перепускной трубой на ПК3+00 равна:

$$H_{тр} = 358,13 + 3,11 = 361,24 \text{ м.}$$

Контрольная отметка над трубой на ПК10+50 равна:

$$H_{тр} = 356,71 + 3,11 = 359,82 \text{ м.}$$

Контрольная отметка над перепускной трубой на ПК19+50 равна:

$$H_{\text{тр}} = 406,28 + 3,11 = 409,39 \text{ м.}$$

Контрольная отметка над перепускной трубой на ПК37+00 равна:

$$H_{\text{тр}} = 429,18 + 3,11 = 432,29 \text{ м.}$$

Контрольная отметка над трубой на ПК47+00 равна:

$$H_{\text{тр}} = 415,09 + 3,11 = 418,2 \text{ м.}$$

В таблицу 8.2 помещаем найденные контрольные точки.

Таблица 8.2 – Ведомость контрольных точек

| № точки | Название точки | Пикет | Отметка, м | | Положение проектной линии |
|---------|----------------|-------|------------|-----------------|---------------------------|
| | | | рельефа | проектной линии | |
| 1 | начало трассы | 0+00 | 360,30 | 361,50 | проходит через точку |
| 2 | труба | 3+00 | 358,13 | 361,24 | не ниже точки |
| 3 | труба | 10+50 | 356,71 | 359,82 | не ниже точки |
| 4 | труба | 19+50 | 406,28 | 409,39 | не ниже точки |
| 5 | труба | 37+00 | 429,18 | 432,29 | не ниже точки |
| 6 | труба | 47+50 | 415,09 | 418,20 | не ниже точки |
| 7 | конец трассы | 50+38 | 418,00 | 419,20 | проходит через точку |

Таким образом, определив руководящие отметки и контрольные точки, переходим к построению проектной линии различными методами.

8.2 Построение проектной линии классическим методом

Возможны два способа нанесения проектной линии: по обертывающей и по секущей. При прокладывании проектной линии в условиях равнинного рельефа местности и на дорогах низких категорий используют способ по обертывающей. В таком случае проектная линия по возможности проектируется параллельно поверхности земли. От этого правила отступают при пересечении пониженных мест рельефа. Способ по секущей используют в условиях холмистого и сильно пересеченного рельефа. При таком проектировании стараются обеспечить баланс земли участков насыпей и выемок, чтобы использовать грунт из выемок для устройства насыпей в пониженных местах.

Классический метод или метод тангенсов заключается в построении ломаной линии. Она строится с соблюдением контрольных и руководящих отметок, а затем в места ее переломов вписываются вертикальные кривые. Данный метод используется при проектировании в условиях равнинного рельефа, при затяжных подъемах и спусках дороги.

Перед построением проектной линии в программе необходимо выставить значения контрольных отметок из таблицы 8.2. Далее строится ломаный ход и

вписываются вертикальные кривые с соблюдением рекомендаций минимальных и максимальных значений радиусов вертикальных кривых и продольных уклонов.

8.3 Построение проектной линии методом кубических сплайнов

Сплайновый метод проектирования продольного профиля применяется для проектирования любых линий, образующих трассу (кромки, бровки, подошвы откоса, дна кювета и другие). Его использование наиболее эффективно в условиях сильно пересеченной местности. Суть данного метода заключается в том, что сначала эскизно намечается проектная линия, а затем аппроксимируется вертикальными кривыми с помощью шаблонов. Таким образом, проектная линия может состоять из фрагментов вертикальных кривых и прямолинейных участков. Величину радиусов кривых и продольных уклонов подбирают так, чтобы проектная линия была наиболее плавной и ее положение не приводило к увеличению объемов земляных работ.

Достоинствами данного метода являются лучшее согласование дороги с рельефом и минимизация объемов земляных работ. Тем самым повышается качество проекта автомобильной дороги.

В программе сплайн строится на основе линии, построенной классическим методом. С помощью команды «Оптимизация» ищется наиболее благоприятный вариант проектной линии. Далее проводится анализ графика кривизны, по которому можно отслеживать соблюдение ограничений на минимальные радиусы выпуклых и вогнутых кривых.

8.4 Сравнительный анализ вариантов проектной линии

Оба варианта проектной линии проходят в основном в насыпи.

Проектная линия, построенная методом тангенсов, имеет четыре выпуклых кривых радиусами 7000, 20000, 25000, 30000 м и две вогнутых кривых радиусами 7000 и 20000 м. Наибольший продольный уклон составляет 47‰

Что касается проектной линии, построенной вторым методом, то учебная версия программы IndorCAD/Road не позволяет воспользоваться всеми возможностями полной версии при проектировании линии продольного профиля методом кубических сплайнов. Программа построила много спрямленных участков, что не совсем корректно для данного метода, и всего две выпуклых кривых радиусами 18750 и 21200 м и две вогнутых кривых радиусами 17650 и 6900 м.

Таким образом, исходя из выполненного сравнения обоих вариантов, предпочтение отдаем продольному профилю, построенному методом тангенсов. Он представлен в графической части выпускной квалификационной работы.

8.5 Построение грунтового разреза по трассе

Грунтовый разрез трассы выполняют по данным инженерно-геологических обследований, осуществляемых путем устройства скважин и шурфов.

Шурфы – это вертикальные выработки сечением 1,2–2 м, которые устраиваются на равнинных участках трассы. Это более трудоемкие выработки, чем скважины, но они позволяют провести детальное исследование грунта.

Скважины устраивают:

- в районе выемок;
- под искусственными сооружениями;
- под высокими насыпями;
- на перекрестках;
- в начале и конце трассы.

На остальных участках закладывают шурфы. На 1 км трассы обычно устраивается не более трех геологических выработок.

Глубина скважин в выемках должна дать представление о грунтовом профиле не менее чем на глубину промерзания и толщины дорожной одежды ниже бровки земляного полотна. Определяется по формуле:

$$h_{\text{скв}} = h_{\text{прмз}} + h_{\text{в}}, \quad (8.1)$$

где $h_{\text{прмз}}$ – глубина промерзания, м;

$h_{\text{в}}$ – рабочая отметка выемки, м.

Рассчитаем глубину скважины выемки, расположенной на ПК25. Ее рабочая отметка 4,34 м. Глубина промерзания в районе проектирования равна 2,2 м. Тогда глубина скважины на этом пикете будет составлять:

$$h_{\text{скв}} = 2,20 + 4,34 = 6,54 \text{ м.}$$

Округлим значение до 7 м.

Скважины под высокими насыпями (высотой более 6 м) принято закладывать на величину 3–4 м. Глубина скважин у труб составляет 5–10 м. Шурфы имеют глубину 1,5–2 м.

Выработки отображены на продольном профиле проектируемой дороги. Ведомость скважин представлена в приложении Б.

9 Проектирование нежестких дорожных одежд

9.1 Определение расчетной осевой нагрузки

Расчет дорожной одежды на прочность осуществляется с учетом нормативной осевой нагрузки, расчетной осевой нагрузки и расчетной удельной нагрузки.

Нормативная осевая нагрузка – это полная нагрузка от наиболее нагруженной оси условного двухосного автомобиля. Значение нормативной нагрузки принимается в зависимости от капитальности покрытия. Так как автомобильная дорога относится к IV категории, то принимается облегченный тип покрытия. Нормативная осевая нагрузка составляет 100 кН.

Расчетная осевая нагрузка – это максимальная нагрузка на наиболее нагруженную ось для двухосных автомобилей или на приведенную ось для многоосных. Доля таких автомобилей в составе и интенсивности движения должна составлять не менее 5 %. Если данная нагрузка меньше нормативной, то за расчетную принимают первую.

Определяем расчетную осевую нагрузку. Сначала определяется перспективная интенсивность движения на конец межремонтного периода. Ранее мы уже определили это значение по формуле (2.1). Оно равно 1200 авт./сут.

Далее определяется приведенная к расчетному двухосному автомобилю интенсивность движения с помощью специальных коэффициентов по формуле:

$$N_p = f_{\text{пол}} \cdot \sum_{m=1}^n N_m \cdot S_{m \text{ сум}}, \quad (9.1)$$

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

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

$S_{m \text{ сум}}$ – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортных средств m -й марки;

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

Расчет ведем в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Расчет интенсивности движения

| m | Вид транспортного средства | % в потоке | N_m , авт./сут | $S_{m \text{ сум}}$ | $N_m \cdot S_{m \text{ сум}}$, груз.ед./сут |
|--------|--|------------|------------------|---------------------|--|
| 1 | Легковые | 59 | 708 | 0 | 0 |
| 2 | Грузовые с нагрузкой на ось: до 2 т | 12 | 144 | 0,005 | 0,72 |
| 3 | - от 2 до 6 т | 7 | 84 | 0,2 | 16,8 |
| 4 | - от 6 до 8 т | 11 | 132 | 0,7 | 92,4 |
| 5 | - от 8 до 14 т | 5 | 60 | 1,25 | 75 |
| 6 | Автопоезда: до 12 т - от 12 до 20 т | 4 | 48 | 1,5 | 72 |
| 7 | Автобусы большой вместимости | 2 | 24 | 0,7 | 16,8 |
| Итого: | | 100 | 1200 | - | 273,72 |

Значение $f_{\text{пол}}$ для двухполосной дороги принимается равным 0,55. Подставляем известные значения в формулу:

$$N_p = 0,55 \cdot 273,72 = 150,546 \frac{\text{груз.ед.}}{\text{сут}}$$

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

$$\sum N_p = 0,7 \cdot N_p \cdot \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} \cdot T_{рдг} \cdot k_n, \quad (9.2)$$

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

$T_{сл}$ – расчетный срок службы;

K_c – коэффициент суммирования;

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

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

Показатель интенсивности движения данного типа автомобиля по годам определяется по формуле:

$$q = \left(1 + \frac{P}{100}\right), \quad (9.3)$$

где P – ежегодный прирост интенсивности движения, %.

$$q = \left(1 + \frac{3,7}{100}\right) = 1,037.$$

Расчетный срок службы $T_{сл}$ задается по категории автомобильной дороги, типу дорожной одежды и дорожно-климатической зоне. Для IV категории дороги облегченного типа покрытия и III дорожно-климатической зоны расчетный срок службы принимается равным от 9 до 11 лет. Используем в расчете 10 лет.

Коэффициент суммирования определяется по формуле:

$$K_c = \frac{q^{T_{сл}-1}}{q-1}. \quad (9.4)$$

$$K_c = \frac{1,037^{10}-1}{1,037-1} = 11,84.$$

Расчетное число дней в году определяется по региональным нормам. Район проектирования расположен в Восточной Сибири. Для нее значение $T_{рдг}$ принимается равным 130 дней.

Коэффициент k_n определяется для облегченного типа покрытия и дороги IV категории принимает значение 1,26.

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 150,546 \cdot \frac{11,84}{1,037^{(10-1)}} \cdot 130 \cdot 1,26 = 147375 \text{ груз. ед.}$$

Удельная осевая нагрузка – это нагрузка на дорожную одежду от колеса расчетного двухосного автомобиля. Она моделируется в виде гибкого кругового штампа диаметром D , который передает равномерно распределенную нагрузку p

на покрытие дорожной одежды. Площадь круг равна площади отпечатка колеса. Диаметр круга составляет 39 см для подвижной нагрузки. Величина p принимается равной давлению воздуха в шинах. Для покрытия облегченного типа оно составляет 0,6 МПа.

9.2 Характеристики материалов слоев дорожной одежды

Для расчета дорожной одежды по критериям прочности необходимо назначить модули упругости конструктивных слоев и грунта подстилающего слоя. Назначаем предварительную конструкцию дорожной одежды, используя ОДН 218.046-01 [6]. Расчет ведется в программе IndorPavement, а также просчитывается вручную. В таблице 9.2 приведена назначенная конструкция дорожной одежды.

Таблица 9.2 Конструкция дорожной одежды облегченного типа

| № | Материал слоя | h , см | γ , кг/см ³ | По упруг. про- гибу, E , МПа | По усло- вию сдвиго- уст., E , МПа | Расчет на растяжение при изгибе | | | |
|---|--|-------------|----------------------------------|--|--|------------------------------------|----------------|----------|-----|
| | | | | | | E , МПа | R_0 , МПа | α | m |
| 1 | Асфальтобетон пори- стый II марки, БНД 60/90 | 12 | 0,0023 | 2000 | 840 | 2800 | 8 | 7,1 | 4,3 |
| 2 | Щебень фракц. легко- уплот. с заклиной це- ментопесчаной сме- сью М75 | 14 | 0,002 | 700 | 700 | 700 | - | - | - |
| 3 | Щебеночная смесь СЗ – 120 мм | 32 | 0,002 | 280 | 280 | 280 | - | - | - |
| 4 | Песок средней круп- ности с содержанием глинистой фракции 5% При динам. возд.: $c_N = 0,003$; $\varphi = 28^\circ$; При статич. возд.: $\varphi_{ст} = 33^\circ$. | 40 | 0,002 | 120 | 120 | 120 | - | - | - |
| 5 | Суглинок легкий пы- леватый Расчетная влажность: $W_p = 0,69W_T$; При динам. возд.: $c_N = 0,007$; $\varphi = 6,5^\circ$; При статич. возд.: $\varphi_{ст} = 18^\circ$. | - | | 48 | 48 | 48 | - | - | - |

Так как грунтом подстилающего слоя является суглинок легкий пылеватый и суммарная толщина слоев составляет 0,95 м, что превышает значение 0,75 м по условию, то расчетная влажность грунта определяется по формуле:

$$W_p = (\bar{W}_{таб} + \Delta_1 - \Delta_2) \cdot (1 + 0,1 \cdot t) - \Delta_3, \quad (9.5)$$

где $\bar{W}_{таб}$ – среднее многолетнемерзлое значение относительной влажности, определяемое по [6];

Δ_1 – поправка на особенности рельефа территории;

Δ_2 – поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин;

Δ_3 – поправка на влияние суммарной толщины стабильных слоев дорожной одежды;

t – коэффициент нормированного отклонения.

$$W_p = (0,63 + 0 - 0,02) \cdot (1 + 0,1 \cdot 1,32) - 0 = 0,69.$$

Краткий отчет о расчете дорожных одежд приведен в приложении В и Г.

9.3 Расчет на прочность по критерию упругого прогиба

Конструкция дорожной одежды будет удовлетворять требованиям прочности и надежности по величине упругого прогиба при условии:

$$\frac{E_{общ}}{E_{тр.min}} \geq K_{тр, пр}, \quad (9.6)$$

где $E_{общ}$ – общий расчетный модуль упругости конструкции, МПа;

$E_{тр.min}$ – минимальный требуемый общий модуль упругости, МПа;

$K_{тр, пр}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надежности; для IV категории дороги с облегченным типом покрытия равен 1,1.

Величина минимального требуемого модуля упругости конструкции назначают по правилу:

$$E_{тр.min} = \max(E_{табл}; E_{min}), \quad (9.7)$$

где E_{min} – вычисляют по эмпирической формуле;

$E_{табл}$ – модуль упругости, назначаемый по [6].

Определяется E_{min} в зависимости от типа дорожной одежды и категории дороги. Для облегченных дорожных одежд и IV категории дороги определяется по формуле:

$$E_{min} = 98,65 \cdot (\lg(\sum N_p) - c), \quad (9.8)$$

где c – эмпирический параметр, принимаемый по [6].

$$E_{min} = 98,65 \cdot (\lg 147375 - 3,55) = 160 \text{ МПа.}$$

Определяем минимальный требуемый модуль упругости по (9.7):

$$E_{тр.min} = \max(150; 160) = 160 \text{ МПа.}$$

Расчет по допускаемому прогибу ведется послойно, начиная с подстилающего грунта по номограмме из [6].

Определяем отношение модулей упругости подстилающего слоя к дополнительному слою основания:

$$\frac{E_{н}}{E_{в}} = \frac{E_{сугл}}{E_{песок}} = \frac{48}{120} = 0,40.$$

Диаметр следа колеса равен 39 см. Тогда отношение $\frac{h_{в}}{D} = \frac{h_{песок}}{D} = \frac{40}{39} = 1,03$.

По номограмме $\frac{E_{песок}^{общ}}{E_{н}} = 0,70$, тогда $E_{песок}^{общ} = 120 \cdot 0,70 = 84 \text{ МПа}$.

Далее определяем отношение модулей упругости дополнительного слоя основания к нижнему слою основания:

$$\frac{E_{н}}{E_{в}} = \frac{E_{песок}^{общ}}{E_{шс}} = \frac{84}{280} = 0,30.$$

Отношение $\frac{h_{в}}{D} = \frac{h_{шс}}{D} = \frac{32}{39} = 0,82$.

По номограмме $\frac{E_{шс}^{общ}}{E_{н}} = 0,57$, тогда $E_{шс}^{общ} = 280 \cdot 0,57 = 159,60 \text{ МПа}$.

Определяем отношение модулей упругости нижнего слоя основания к верхнему:

$$\frac{E_{н}}{E_{в}} = \frac{E_{шс}^{общ}}{E_{ш.фр.}} = \frac{159,60}{700} = 0,23.$$

Отношение $\frac{h_{в}}{D} = \frac{h_{ш.фр.}}{D} = \frac{14}{39} = 0,36$.

По номограмме $\frac{E_{ш.фр.}^{общ}}{E_{н}} = 0,30$, тогда $E_{ш.фр.}^{общ} = 700 \cdot 0,30 = 210 \text{ МПа}$.

Переходим к определению отношений модулей упругости слоя покрытия к верхнему слою основания:

$$\frac{E_{н}}{E_{в}} = \frac{E_{ш.фр.}^{общ}}{E_{а/б}} = \frac{210}{2000} = 0,105.$$

$$\text{Отношение } \frac{h_B}{D} = \frac{h^{a/6}}{D} = \frac{12}{39} = 0,31.$$

$$\text{По номограмме } \frac{E_{\text{общ}}^{a/6}}{E_H^{a/6}} = 0,18, \text{ тогда } E_{\text{общ}}^{a/6} = 2000 \cdot 0,18 = 360 \text{ МПа.}$$

Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу:

$$\frac{E_{\text{общ}}^{\text{щма}}}{E_{\text{тр min}}} = \frac{360}{160} = 2,25.$$

Таким образом получаем $2,25 \geq 1,1$. Это означает, что данная конструкция дорожной одежды удовлетворяет условию прочности по критерию упругого прогиба.

9.4 Расчет на прочность по критерию сдвига в малосвязных грунтах

К слоям дорожной конструкции с пониженной сопротивляемостью сдвигу относятся малосвязные (песчаные, гравийные) слои дорожной одежды и подстилающий грунт земляного полотна. Необходимо достичь того, чтобы под действием нагрузок в этих слоях за срок службы не накапливались недопустимые остаточные деформации формоизменения. Для этого нужно обеспечить условие:

$$K_{\text{пр}} \geq K_{\text{тр}}, \quad (9.9)$$

где $K_{\text{пр}}$ – коэффициент прочности, определяемый по формуле;

$K_{\text{тр}}$ – требуемый коэффициент прочности на сдвиг, равный 0,94.

Определяем коэффициент прочности по формуле:

$$K_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{доп}}}{T}, \quad (9.10)$$

где T – расчетное (максимальное) активное напряжение сдвига (часть сдвигающего напряжения, непогашенная внутренним трением) в расчетной (наиболее опасной) точке конструкции от действующей временной нагрузки;

$T_{\text{доп}}$ – допускаемая (предельная) величина активного напряжения сдвига (в той же точке), превышение которой вызывает нарушение прочности.

Необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$K_{\text{пр}} < \frac{T_{\text{доп}}}{T}. \quad (9.11)$$

Требуемый коэффициент прочности равен 0,94.

Напряжения в конструктивных слоях в подстилающем грунте от воздействия транспортной нагрузки вычисляют по формулам из теории упругости для слоистой среды, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой через гибкий круглый штамп, с учетом условий на контакте слоев.

Действующие в слое активные напряжения сдвига T определяются по формуле:

$$T = \bar{\tau}_n \cdot p, \quad (9.12)$$

где $\bar{\tau}_n$ – активное напряжение сдвига от единичной временной нагрузки, определяемое с помощью номограммы;

p – расчетное давление от колеса на покрытие, зависящее от типа покрытия (для облегченного типа 0,6 МПа).

Предельно допустимое активное напряжение сдвига $T_{\text{доп}}$ в грунте рабочего слоя определяют по формуле:

$$T_{\text{доп}} = c_N \cdot k_d + 0,1 \cdot \gamma_{\text{ср}} \cdot z_{\text{оп}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{ст}}, \quad (9.13)$$

где c_N – сцепление в грунте проверяемого слоя, МПа;

k_d – коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания;

$z_{\text{оп}}$ – глубина расположения поверхности слоя, проверяемого на сдвигоустойчивость, от верха конструкции, см;

$\gamma_{\text{ср}}$ – средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя, кг/см³;

$\varphi_{\text{ст}}$ – расчетная величина угла внутреннего трения материала проверяемого слоя при статическом действии нагрузки;

0,1 – коэффициент для перевода в МПа.

Если дополнительный слой основания песчаный, а нижний слой основания из укрепленных материалов или между этими слоями укладывается геотекстильная прослойка, то коэффициент k_d принимает значение из таблицы по [6]. Для дополнительного слоя основания из песка средней крупности он равен 4.

Перед использованием номограммы необходимо предварительно назначенную конструкцию дорожной одежды привести к двухслойной расчетной модели. При расчете на сдвиг в подстилающем слое первый слой – это вся конструкция дорожной одежды, а второй – подстилающий грунт. Тогда толщина верхнего слоя принимается равной сумме толщин всех слоев дорожной одежды:

$$h_{\text{в}} = \sum_{i=1}^n h_i \quad (9.14)$$

где n – число слоев дорожной одежды;

h_i – толщина i -го слоя, см.

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле:

$$E_B = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (9.15)$$

где E_i – модуль упругости i -го слоя дорожной одежды, МПа.

Средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя, определяется по формуле:

$$\gamma_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (9.16)$$

где γ_i – удельный вес i -го слоя конструкции.

Проведем расчет на сдвигоустойчивость подстилающего грунта. Сумма толщин слоев дорожной одежды равна:

$$h_B = 12 + 14 + 32 + 40 = 98 \text{ см.}$$

Рассчитаем модуль упругости верхнего слоя модели:

$$E_B = \frac{840 \cdot 12 + 700 \cdot 14 + 280 \cdot 32 + 120 \cdot 40}{98} = 343,30 \text{ МПа.}$$

Средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев равен:

$$\gamma_{cp} = \frac{0,0023 \cdot 12 + 0,002 \cdot 14 + 0,002 \cdot 32 + 0,002 \cdot 40}{98} = 0,002 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$$

По отношениям $\frac{E_H}{E_B} = \frac{343,30}{48} = 7,15$, $\frac{h_B}{D} = \frac{98}{39} = 2,51$ и при $\varphi = 6,5^\circ$ с помо-

щью номограммы находится удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки: $\bar{\tau}_H = 0,018$ МПа.

Тогда $T = 0,018 \cdot 0,6 = 0,011$ МПа.

Определяем предельное активное напряжение сдвига в грунте рабочего слоя по формуле (9.13):

$$T_{доп} = 0,007 \cdot 1 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 98 \cdot tg 18^\circ = 0,013 \text{ МПа.}$$

Определяем коэффициент прочности по формуле (9.10):

$$K_{пр} = \frac{0,013}{0,011} = 1,18, \text{ что больше } K_{пр}^{тр} = 0,94.$$

Делаем вывод, что конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в подстилающем слое.

Переходим к расчету на сдвиг в дополнительном слое основания. Аналогичным образом приводим конструкцию к двухслойной модели. Толщина верхнего слоя, исключая толщину дополнительного слоя основания, равна:

$$h_B = 12 + 14 + 32 = 58 \text{ см.}$$

Модуль упругости верхнего слоя модели равен:

$$E_B = \frac{840 \cdot 12 + 700 \cdot 14 + 280 \cdot 32}{58} = 497,24 \text{ МПа.}$$

Нижним слоем двухслойной модели является совокупность дополнительного слоя и грунта подстилающего слоя. На границе между модельными верхним и нижним слоями (на поверхности песчаного слоя) требуемый модуль упругости согласно расчетам по упругому прогибу $E_{\text{общ}}^{\text{песок}} = 84 \text{ МПа}$.

Тогда $\frac{E_H}{E_B} = \frac{497,24}{84} = 5,92$, $\frac{h_B}{D} = \frac{58}{39} = 1,49$ и при $\varphi = 28^\circ$ с помощью номограммы находится удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки: $\bar{\tau}_H = 0,016 \text{ МПа}$.

Тогда $T = 0,016 \cdot 0,6 = 0,01 \text{ МПа}$.

Определяем предельное активное напряжение сдвига в грунте рабочего слоя по формуле (9.13):

$$T_{\text{доп}} = 0,003 \cdot 4 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 58 \cdot \text{tg}33^\circ = 0,02 \text{ МПа.}$$

Определяем коэффициент прочности по формуле (9.10):

$$K_{\text{пр}} = \frac{0,02}{0,01} = 2, \text{ что больше } K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 0,94.$$

Делаем вывод, что конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в дополнительном песчаном слое.

9.5 Расчет на прочность по критерию изгиба монолитных слоев

Асфальтобетонные слои дорожной одежды проверяют на прочность при изгибе по критерию:

$$K_{\text{пр}} \geq K_{\text{пр}}^{\text{тр}}, \tag{9.17}$$

где $K_{\text{пр}}$ – определяется по формуле.

$$K_{\text{пр}} = \frac{R_{\text{и}}}{\sigma_r}, \tag{9.18}$$

где $R_{и}$ – предельно допустимое растягивающее напряжение для материала монолитного слоя (показатель прочности материала слоя на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений);

σ_r – наибольшее растягивающее напряжение в монолитном слое, устанавливаемое расчетом.

Значение требуемого коэффициента прочности совпадает с коэффициентом прочности при расчете на сдвиг в малосвязных грунтах и равен 0,94.

Аналогично расчету на сдвиг приводим систему слоев конструкции к двухслойной модели. К верхнему слою модели относят все асфальтобетонные слои, включая рассчитываемый. Нижним слоем модели служит часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев. Она также включает в себя грунт рабочего слоя.

Расчет ведется послойно, начиная с подстилающего грунта.

Задаем толщину верхнего слоя модели, равную сумме толщин, входящих в пакет асфальтобетонных слоев. Рассчитываем по формуле (9.14):

$$h_{в} = 12 \text{ см.}$$

Вычисляем модуль упругости верхнего слоя модели как средневзвешенное для всего пакета слоев по формуле (9.15):

$$E_{в} = \frac{2800 \cdot 12}{12} = 2800 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости нижнего слоя модели определяется путем приведения слоистой системы к эквивалентной по жесткости с помощью номограммы. Здесь требуется определить $E_{общ}$ на нижней границе асфальтобетонного пакета.

Вычисляем расчетное растягивающее напряжение по формуле:

$$\sigma_r = \bar{\varphi} \cdot p \cdot k_{в}, \quad (9.19)$$

где $\bar{\varphi}$ – растягивающее напряжение от единичной нагрузки, определяемое по номограмме;

p – расчетное давление, принимаемое 0,6 МПа;

$k_{в}$ – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном, равен 0,85.

Определяем $E_{общ}$ на поверхности слоя из фракционного щебня с заклиной цементопесчаной смесью. Он равен $E_{общ}^{щ.фр.} = 280 \text{ МПа}$.

Определяем растягивающее напряжение от единичной нагрузки, для чего сначала находим $\frac{h_{в}}{D} = \frac{12}{39} = 0,31$ и $\frac{E_{н}}{E_{в}} = \frac{2800}{280} = 10$. По номограмме определяем значение $\bar{\varphi} = 1,65$.

$$\sigma_r = 1,65 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 0,84 \text{ МПа.}$$

Определяем прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе по формуле:

$$R_N = R_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot (1 - v_R \cdot t), \quad (9.20)$$

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.

В пакете асфальтобетонных слоев за предельное растягивающее напряжение R_N принимают значение материала нижнего слоя покрытия.

Коэффициент k_1 определяется по формуле:

$$k_1 = \frac{m \cdot \alpha}{\sqrt{\sum N_p}}, \quad (9.21)$$

где α – коэффициент, учитывающий различие в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузкой, а также вероятность совпадения во времени расчетной (низкой) температуры покрытия и расчетного состояния грунта рабочего слоя по влажности;

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

$\sum N_p$ – расчетное суммарное число приложений расчетной нагрузки за срок службы монолитного покрытия.

$$k_1 = \frac{7,1}{4,3 \sqrt{147375}} = 0,46.$$

Коэффициент k_2 определяется по [6] и равен 0,8.

Коэффициент вариации прочности на растяжение v_R определяется по [6] и равен 0,1.

Коэффициент нормативного отклонения t при надежности 0,9 равен 1,32.

$$R_N = 8 \cdot 0,46 \cdot 0,8 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,32) = 2,56.$$

Определяем значение $K_{пр} = \frac{R_{и}}{\sigma_r} = \frac{2,56}{0,77} = 3,32$, что больше $K_{тр} = 0,94$.

Делаем вывод, что выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности на изгиб в монолитных слоях.

9.6 Расчет на морозостойчивость

Расчет конструкции дорожной одежды на зимнее пучение проводят для неблагоприятных грунтово-гидрологических условий. К ним относят второй и третий тип местности по увлажнению в I–III дорожно-климатических зонах при наличии пылеватых грунтов в верхней части земляного полотна.

Пучение – процесс, происходящий при замерзании грунта. Характеристикой пучения является степень морозной пучинистости.

Пучинистые грунты – грунты, степень пучинистости которых превышает значение 0,01, то есть при промерзании на 1 м они увеличиваются в объеме более чем на 1 см.

Расчет выполняется путем определения величины ожидаемого пучения грунта рабочего слоя земляного полотна и сравнения ее с допускаемой для данной конструкции величиной.

Конструкция считается морозостойчивой, если выполняется условие:

$$l_{\text{пуч}} \leq l_{\text{доп}}, \quad (9.22)$$

где $l_{\text{пуч}}$ – расчетное пучение грунта земляного полотна;

$l_{\text{доп}}$ – допускаемое для данной конструкции пучение грунта, принимается по таблице из [6] в зависимости от вида покрытия и типа дорожной одежды, для облегченного типа с асфальтобетонным покрытием принимается 6 см.

Величина возможного морозного пучения определяется по формуле:

$$l_{\text{пуч}} = l_{\text{пуч ср}} \cdot K_{\text{УГВ}} \cdot K_{\text{пл}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\text{нагр}} \cdot K_{\text{вл}}, \quad (9.23)$$

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 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;

$K_{\text{вл}}$ – коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта.

Определяем глубину промерзания по формуле:

$$z_{\text{пр}} = z_{\text{пр (ср)}} \cdot 1,38, \quad (9.24)$$

где $z_{\text{пр (ср)}}$ – средняя глубина промерзания для данного района, устанавливается при помощи карт изолиний.

$$z_{\text{пр}} = 2,2 \cdot 1,38 = 3,04 \text{ м.}$$

Определяем значение $l_{\text{пуч ср}}$ при $z_{\text{пр}} = 2$ м по графикам из [6]. Тогда значение $l_{\text{пуч ср } 2,0} = 8$ см. Так как глубина промерзания превышает 2 м, определяем $l_{\text{пуч ср}}$ по формуле:

$$l_{\text{пуч ср}} = l_{\text{пуч ср } 2,0} \cdot [a + b \cdot (z_{\text{пр}} - c)], \quad (9.25)$$

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

a – принимается равным 1,08;

b – принимается равным 0,08;

c – принимается равным 2,5.

$$l_{\text{пуч ср}} = 8 \cdot [1,08 + 0,08 \cdot (3,04 - 2,5)] = 8,98 \text{ см.}$$

Коэффициент $K_{\text{УГВ}}$ для суглинка легкого пылеватого принимается 0,53.

Значение коэффициента $K_{\text{пл}}$ принимается равным 0,8.

Коэффициент $K_{\text{гр}}$ для суглинистых грунтов равен 1,3.

Значение коэффициента $K_{\text{нагр}}$ определяется по графику и равно 0,8.

Коэффициент $K_{\text{вл}}$ определяется в зависимости от влажности грунта, при влажности 0,69, рассчитанной в пункте 7.2, равен 1,1.

$$l_{\text{пуч}} = 8,98 \cdot 0,53 \cdot 0,8 \cdot 1,3 \cdot 0,8 \cdot 1,1 = 4,36 \text{ м.}$$

Проверяем условие $4,36 \leq 6$. Условие выполняется. Делаем вывод, что конструкция является морозоустойчивой.

Краткий отчет о расчете дорожных одежд представлен в приложении В.

10 Поперечные профили дороги

Поперечные профили земляного полотна назначаются на основе анализа продольного профиля автомобильной дороги и в зависимости от высоты насыпи или глубины выемки, а также от грунтовых условий с учетом природно-климатических условий района строительства и от категории автомобильной дороги. В соответствии с рекомендациями, изложенными в [3], следует применять типовые или индивидуальные решения.

Индивидуальные поперечные профили применяются при слабых основаниях, при использовании грунтов высокой влажности, а также при проектировании высоких насыпей и глубоких выемок (более 12 м).

На проектируемой автомобильной дороге предусмотрено 4 типа поперечных профилей. Поперечные профили с привязкой к пикетам представлены в таблице 9.1.

Далее в программе строятся поперечные профили в соответствии с таблицей привязки. Назначается ранее рассчитанная дорожная одежда.

Таблица 9.1 – Привязка поперечных профилей по трассе

| Тип поперечного профиля | Описание поперечного профиля | Пикетажное положение | |
|-------------------------|--|---|---|
| | | слева | справа |
| 1 | Насыпь высотой до 2 м с кюветами, крутизна откосов 1:3 | ПК0+00 – ПК2+43; ПК4+23 – ПК6+00; ПК11+85 – ПК13+62; ПК16+32; ПК18+00 – ПК19+10; ПК20+79 – ПК22+00; ПК27+20 – ПК28+14; ПК30+00; ПК32+00 – ПК32+80; ПК35+00 – ПК36+24; ПК37+50 – ПК40+53; ПК43+00 – ПК45+25; ПК48+30 – ПК50+38 | ПК0+00 – ПК2+43; ПК4+23 – ПК6+00; ПК11+85 – ПК13+62; ПК16+32; ПК18+00 – ПК19+10; ПК20+79 – ПК22+00; ПК27+20 – ПК28+14; ПК30+00; ПК32+00 – ПК32+80; ПК35+00 – ПК36+24; ПК37+50 – ПК40+53; ПК43+00 – ПК45+25; ПК48+30 – ПК50+38 |
| 2 | Насыпь высотой более 2 м, крутизна откосов 1:1,5 | ПК3+00 – ПК4+00; ПК7+00 – ПК10+50; ПК11+00; ПК14+00 – ПК16+00; ПК19+50 – ПК20+00; ПК29+00; ПК30+56 – ПК31+76; ПК36+62 – ПК37+42; ПК41+00 – ПК42+00; ПК45+35 – ПК48+00 | ПК3+00 – ПК4+00; ПК7+00 – ПК10+50; ПК11+00; ПК14+00 – ПК16+00; ПК19+50 – ПК20+00; ПК29+00; ПК30+56 – ПК31+76; ПК36+62 – ПК37+42; ПК41+00 – ПК42+00; ПК45+35 – ПК48+00 |
| 3 | Раскрытая выемка глубиной до 1 м | ПК17+00 – ПК17+66; ПК22+73 – ПК23+04; ПК26+58 – ПК27+00; ПК34+00 | ПК17+00 – ПК17+66; ПК22+73 – ПК23+04; ПК26+58 – ПК27+00; ПК34+00 |
| 4 | Выемка глубиной до 12 м | ПК23+50 – ПК26+50 | ПК23+50 – ПК26+50 |

Ведомость площадей полос отвода и ведомость объемов земляных работ приведены в приложениях Г и Д соответственно.

Типы поперечных профилей представлены в графической части выпускной квалификационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был запроектирован участок автомобильной дороги в Ужурском районе Красноярского края.

Перед началом проектирования была самостоятельно создана цифровая модель местности, проведен анализ природно-климатических условий района проектирования и по исходным данным интенсивности движения определена категория автомобильной дороги.

Следующим этапом стало проектирование двух вариантов трассы. Была выполнена их комплексная оценка, технико-экономическое сравнение и на основе расчетов был выбран первый вариант трассы. Далее были запроектированы водопропускные трубы и выполнен их гидравлический расчет.

Продольный профиль первого варианта трассы был запроектирован двумя методами: классическим и кубическими сплайнами. В результате сравнительного анализа была выбрана проектная линия, выполненная классическим методом.

В процессе проектирования были рассчитаны две конструкции дорожной одежды и путем экономического сравнения был выбран наиболее целесообразный вариант. Кроме того, было выполнено проектирование поперечных профилей автомобильной дороги.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СТО 4.2–07–2014 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Введен 30.12.2013 – Красноярск: СФУ, 2014 – 60 с.
2. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. (с Изменением № 2) – Введен 01.01.2013 – Москва: НИИСФ РААСН, 2012 – 114 с.
3. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. – Введ. 01.07.2013. – Москва, 2013. – 110 с.
4. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. – М., 2012. – 110 с.
5. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2011. – 287 с.
6. ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд. – Москва, 2001. – 148 с.
7. О нормах отвода земель для размещения автомобильных дорог и (или) объектов дорожного сервиса [Электронный ресурс]: Постановление правительства РФ от 2 сентября 2009 г. № 717. Доступ из справ. – правовой сист. «КонсультантПлюс».
8. ГОСТ 21.701-2013 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог. – Москва, Стандартинформ, 2014. – 35 с.
9. ГОСТ 21.207-2013 Система проектной документации для строительства. Условные графические изображения на чертежах автомобильных дорог. – Москва, Стандартинформ, 2014. – 24 с.
10. Жуков В.И. Комплексная оценка безопасности движения и экологической обстановки дорог: учеб. пособие / КрасГАСА. – Красноярск, 2002. – 56 с.
11. Жуков В.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог в сложных условиях: учеб. пособие / В.И. Жуков, Т.В. Гавриленко; М-во науки и высш. образования Рос. Федер., Сиб. федер. ун-т, Инж. – строит. ин-т. – 2019.
12. Федотов, Г.А. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн.1: учебник / Г.А. Федотов, П.И. Поспелов. – М.: Высш. шк., 2009. – 646 с.
13. Сайт с учебными материалами для студентов, обучающихся по профилю «Автомобильные дороги» [Электронный ресурс] – Т.В. Гавриленко – Режим доступа: <http://road-project.okis.ru>.
14. Ужурский район – Интернет-энциклопедия Красноярского края [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://my.krskstate.ru/docs/regions/uzhurskiy-rayon/>.
15. Ужур – Восточная Сибирь. Ресурсы, население, районы, природа [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://vostok-sibir.ru/centralno-krasnoyarskij-rajon/204-uzhur.html>.
16. Рельеф, растительность – Проект планировки населенного пункта Сухая долина, Ужурского района [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studwood.ru/1811551/nedvizhimost/relef>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Ведомость реперов для привязки трассы

ШИФР:

Наименование проекта:

Объект: Вариант 1

| № п. п. | Местоположение | | | | | | Название | Отметка репера абсолютная, м | Отметка земли, м | Тип репера |
|---------|----------------|-------|-------|--------|---------|--------|----------|---------------------------------|------------------|------------|
| | ПК+ | лево | право | X | Y | Z | | | | |
| 1 | 0+15,061 | 53,49 | | 761652 | 3884512 | 359,54 | 1 | 359,54 | 359,54 | Временный |
| 2 | 8+93,304 | 46,92 | | 762279 | 3885127 | 357,00 | 7 | 357,00 | 357,03 | Временный |
| 3 | 14+85,869 | 42,42 | | 762702 | 3885542 | 377,05 | 13 | 377,05 | 377,05 | Временный |
| 4 | 16+63,144 | | 40,54 | 762762 | 3885727 | 387,61 | 2 | 387,61 | 387,61 | Временный |
| 5 | 18+44,772 | 38,13 | | 762928 | 3885832 | 398,28 | 12 | 398,28 | 398,28 | Временный |
| 6 | 23+15,275 | 43,77 | | 763179 | 3886230 | 415,76 | 6 | 415,76 | 415,76 | Временный |
| 7 | 25+58,787 | 40,93 | | 763304 | 3886439 | 426,10 | 11 | 426,10 | 426,10 | Временный |
| 8 | 28+65,987 | 48,29 | | 763448 | 3886722 | 426,60 | 3 | 426,60 | 426,60 | Временный |
| 9 | 31+77,675 | 45,3 | | 763495 | 3887041 | 429,19 | 10 | 429,19 | 429,19 | Временный |
| 10 | 37+39,109 | | 56,35 | 763423 | 3887607 | 431,45 | 8 | 431,45 | 431,45 | Временный |
| 11 | 38+96,567 | | 55,27 | 763438 | 3887769 | 429,71 | 4 | 429,71 | 429,71 | Временный |
| 12 | 40+54,301 | | 45,8 | 763481 | 3887926 | 426,57 | 9 | 426,57 | 426,57 | Временный |
| 13 | 50+29,288 | | 42,24 | 763717 | 3888872 | 418,19 | 5 | 418,19 | 418,19 | Временный |

Составил:

Проверил:

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Ведомость геологических скважин

ШИФР:

Наименование проекта:

Вариант 1

| Наименование и номер скважины | Координаты устья скважины | | Привязка к оси трассы | | | Глубина скважины, м | Мощность литологического слоя, м | Мощность балластного слоя, м | Мощность почвенно - растительного слоя, м | Абсолютная отметка устья, м |
|---|---------------------------|-----------|-----------------------|-------|--------|---------------------|----------------------------------|------------------------------|---|-----------------------------|
| | Х | У | ПК+ | влево | вправо | | | | | |
| С-1 | 761616,58 | 3884524,4 | 0+00,000 | 20,00 | | 4 | 4,00 | — | — | 359,75 |
| Ш-2 | 761633,63 | 3884734,0 | 3+00,000 | 20,00 | | 3 | 3,00 | — | — | 358,31 |
| Ш-3 | 762165,4 | 3885110,2 | 8+00,000 | | 20,00 | 3 | 3,00 | — | — | 357,63 |
| С-4 | 762345,18 | 3885284,0 | 10+50,000 | | 20,00 | 10 | 10,00 | — | — | 357,57 |
| С-5 | 762596,87 | 3885527,2 | 14+00,000 | | 20,00 | 4,5 | 4,50 | — | — | 373,35 |
| С-17 | 762847,11 | 3885740,5 | 17+26,000 | 20,00 | | 3 | 3,00 | — | — | 393,8 |
| С-6 | 762933,52 | 3885952,0 | 19+50,000 | | 20,00 | 10 | 10,00 | — | — | 398,6 |
| Ш-7 | 763084,33 | 3886165,1 | 22+00,000 | | 20,00 | 3 | 3,00 | — | — | 410,23 |
| С-8 | 763285,40 | 3886399,8 | 25+00,000 | 20,00 | | 7 | 7,00 | — | — | 425,49 |
| Ш-9 | 763452,86 | 3886663,2 | 30+00,000 | 20,00 | | 3 | 3,00 | — | — | 430,2 |
| Ш-10 | 763470,91 | 3887064,6 | 32+00,000 | 20,00 | | 3 | 3,00 | — | — | 430,79 |
| Ш-11 | 763441,47 | 3887266,4 | 34+00,000 | | 20,00 | 3 | 3,00 | — | — | 433,98 |
| С-12 | 763487,24 | 3887566,0 | 37+00,000 | | 20,00 | 10 | 10,00 | — | — | 430,24 |
| Ш-13 | 763516,95 | 3887964,2 | 41+00,000 | | 20,00 | 3 | 3,00 | — | — | 423,82 |
| Ш-14 | 763588,50 | 3888255,5 | 44+00,000 | | 20,00 | 3 | 3,00 | — | — | 420,82 |
| С-15 | 763660,05 | 3888546,9 | 47+00,000 | | 20,00 | 10 | 10,00 | — | — | 415,41 |
| С-16 | 763779,42 | 3888865,2 | 50+37,601 | 20,00 | | 4 | 4,00 | — | — | 417,88 |
| Общий объем буровых и шурфовочных работ, м | | | | | | | 86,50 | | | |

Составил:

Проверил:

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Краткий отчет о расчете дорожных одежд из программы IndorPavement (вариант 1)

Исходные данные

| | |
|--|--|
| Название объекта: | Автомобильная дорога студента Михайловой |
| Район проектирования: | Красноярский край, город Ужур |
| Выполняемые расчёты: | На упругий прогиб, сдвиг, изгиб, морозостойчивость |
| Дорожно-климатическая зона: | III - подзона 1 |
| Схема увлажнения: | Схема 1 |
| Расчётная влажность грунта W_p : | 0,69 |
| Коэффициент уплотнения грунта: | 1,02 |
| Глубина промерзания дорожной конструкции, м: | 3,04 |

Проектные данные

| | |
|--|--------------|
| Техническая категория дороги: | IV категория |
| Тип дорожной одежды: | Облегчённый |
| Заданная надёжность K_n : | 0,90 |
| Расчётный срок службы между капитальными ремонтами $T_{сл}$, лет: | 10 |
| Ширина проезжей части, м: | 7,5 |
| Расчётная нагрузка | |
| Давление в шине p , МПа: | 0,60 |
| Диаметр отпечатка шины D (дин.), см: | 39,00 |
| Статическая нагрузка на ось Q , кН: | 100,00 |
| Суммарное число приложений нагрузки: | 147375 |

Вариант № 1

Конструктивный слой № 1: 5,0 см

Асфальтобетон горячей укладки плотный III марки из щебёночной (гравийной) смеси типа Б, марка битума БНД/БН-60/90

Конструктивный слой № 2: 7,0 см

Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из крупнозернистой щебёночной (гравийной) смеси марка битума БНД-60/90

Конструктивный слой № 3: 16,0 см

Готовые песчано-гравийные смеси II класса прочности, укрепленные портландцементом М-40 в количестве 6-8% (смесь 2)

Конструктивный слой № 4: 29,0 см

Фракционный щебень, уложенный по способу заклинки, из щебня прочных осадочных пород

Конструктивный слой № 5: 40,0 см

Песок крупный, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%

Грунт земляного полотна

Суглинок лёгкий пылеватый

Общая цена варианта = 1 510 276,00 тыс. Р на всём участке проектирования ($10,00 \times 1000 = 10\,000 \text{ м}^2$)

Результаты расчёта на упругий прогиб

Поверхностный модуль упругости $E_{пов}$ = 389,1 МПа
Требуемый модуль упругости $E_{тр}$ = 159,7 МПа
Расчётный коэффициент прочности $K_{расч}$ = 2,440
Требуемый коэффициент прочности $K_{тр}$ = 1,100
Запас прочности $(K_{расч} - K_{тр}) / K_{тр} * 100\%$ = 122%

Результаты расчёта на сдвигоустойчивость

Конструктивный слой № 5

Параметры материала

Песок крупный, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%
Угол внутреннего трения $\varphi = 28,9^\circ$
Сцепление $c_p = 0,003 \text{ МПа}$
Стат. угол внутреннего трения $\varphi_{ст} = 34,0^\circ$
Коэффициент деформации $K_d = 2,0$

Параметры двухслойной модели

Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв $E_v = 571,58 \text{ МПа}$
Модуль упругости на поверхности расчётного слоя $E_n = 87,41 \text{ МПа}$
Средневзвешенный удельный вес верхних слоёв $\gamma = 0,0017 \text{ кг/см}^3$
Глубина расположения расчётного слоя $Z_{оп} = 57,0 \text{ см}$
Удельное активное напряжение сдвига $\tau = 0,01991 \text{ МПа}$

Расчётное активное напряжение сдвига $T = 0,012$ МПа
Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр} = 0,01245$ МПа
Расчётный коэффициент прочности $K_{расч} = 1,040$
Требуемый коэффициент прочности $K_{тр} = 0,940$
Коэффициент усиления $\alpha = 1,000$
Запас прочности $(K_{расч}-K_{тр})/K_{тр} \cdot 100\% = 11\%$

Грунт земляного полотна

Параметры материала

Суглинок лёгкий пылеватый
Угол внутреннего трения $\varphi = 6,7^\circ$
Сцепление $c_p = 0,008$ МПа
Стат. угол внутреннего трения $\varphi_{ст} = 18,6^\circ$
Коэффициент деформации $K_d = 1,0$

Параметры двухслойной модели

Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв $E_v = 389,48$ МПа
Модуль упругости на поверхности расчётного слоя $E_n = 47,60$ МПа
Средневзвешенный удельный вес верхних слоёв $\gamma = 0,0018$ кг/см³
Глубина расположения расчётного слоя $Z_{оп} = 97,0$ см
Удельное активное напряжение сдвига $\tau = 0,01397$ МПа
Расчётное активное напряжение сдвига $T = 0,008$ МПа
Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр} = 0,01391$ МПа
Расчётный коэффициент прочности $K_{расч} = 1,660$
Требуемый коэффициент прочности $K_{тр} = 0,940$
Коэффициент усиления $\alpha = 1,000$
Запас прочности $(K_{расч}-K_{тр})/K_{тр} \cdot 100\% = 77\%$

Результаты расчёта на сопротивление при изгибе

Параметры материала

Асфальто бетон горячей укладки пористый II марки из крупнозернистой щебёночной (гравийной) смеси
марка битума БНД-60/90
Нормативное сопротивление весной $R_0 = 8,00$ МПа
Усталостный показатель степени $m = 4,3$
Коэффициент различия $\alpha = 7,1$
Коэффициент снижения прочности $k_2 = 0,8$

Параметры двухслойной модели

Средневзвешенный модуль упругости монолитных слоёв $E_v = 3508,33$ МПа
Поверхностный модуль упругости нижнего слоя в пакете монолитных слоёв $E_{общ} = 265,74$ МПа
Глубина расположения расчётного слоя $Z_{оп} = 12,0$ см
Коэффициент K_v (двубаллонное колесо) $= 0,85$
Коэффициент усталостного разрушения $k_1 = 0,45$
Наибольшее растягивающее напряжение $\sigma_t = 1,021$ МПа
Прочность материала при изгибе $R_p = 2,477$ МПа
Расчётный коэффициент прочности $K_{расч} = 2,426$
Требуемый коэффициент прочности $K_{тр} = 0,940$
Запас прочности $(K_{расч}-K_{тр})/K_{тр} \cdot 100\% = 158\%$

Результаты расчёта на морозоустойчивость

Глубина грунтовых вод (от низа дорожной одежды) $H_{у} \approx 10,23$ м
Коэффициент учёта уровня грунтовых вод $K_{угв} = 0,54$
Пучинистость грунта - Группа 5 (чрезмернопучинистый)
Коэффициент учёта нагрузки от вышележащих слоёв $K_{нагр} = 0,80$
Коэффициент, зависящий от расчётной влажности грунта $K_{вл} = 1,09$
Коэффициент, зависящий от уплотнения слоя $K_{пл} = 0,80$
Коэффициент учёта гранулометрии основания $K_{гр} = 1,30$
Величина морозного пучения при усреднённых условиях $L_{пуч.ср.} = 8,82$ см
Ожидаемая пучинистость грунта $4,32$ см $< 80\%$ от допустимой $6,00$ см
Морозозащитный или теплоизолирующий слой не задан: конструкция является морозоустойчивой

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Краткий отчет о расчете дорожных одежд из программы IndorPavement (вариант 2)

Вариант № 2

Конструктивный слой № 1: 12,0 см

Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из крупнозернистой щебёночной (гравийной) смеси марка битума БНД-60/90

Конструктивный слой № 2: 14,0 см

Щебень фракционированный 31,5..45 (45..63) мм легкоуплотняемый с заклиной цементопесчаной смесью М75 при глубине пропитки 0,75h слоя

Конструктивный слой № 3: 32,0 см

Смеси щебёночные с непрерывной гранулометрией С3 - 120 мм (для оснований)

Конструктивный слой № 4: 40,0 см

Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%

Грунт земляного полотна

Суглинок лёгкий пылеватый

Общая цена варианта = 1 365 264,00 тыс. Р на всём участке проектирования (10,00 × 1000 = 10 000 м²)

Результаты расчёта на упругий прогиб

Поверхностный модуль упругости $E_{пов}$ = 383,6 МПа

Требуемый модуль упругости $E_{тр}$ = 159,7 МПа

Расчётный коэффициент прочности $K_{расч}$ = 2,400

Требуемый коэффициент прочности $K_{тр}$ = 1,100

Запас прочности $(K_{расч}-K_{тр})/K_{тр} \cdot 100\%$ = 118%

Результаты расчёта на сдвигоустойчивость

Конструктивный слой № 4

Параметры материала

Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%

Угол внутреннего трения φ = 27,9 °

Сцепление c_p = 0,003 МПа

Стат. угол внутреннего трения $\varphi_{ст}$ = 33,0 °

Коэффициент деформации K_d = 2,0

Параметры двухслойной модели

Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв E_v = 497,24 МПа

Модуль упругости на поверхности расчётного слоя E_n = 83,81 МПа

Средневзвешенный удельный вес верхних слоёв γ = 0,0018 кг/см³

Глубина расположения расчётного слоя $Z_{оп}$ = 58,0 см

Удельное активное напряжение сдвига τ = 0,02115 МПа

Расчётное активное напряжение сдвига T = 0,013 МПа

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ = 0,01273 МПа

Расчётный коэффициент прочности $K_{расч}$ = 1,000

Требуемый коэффициент прочности $K_{тр}$ = 0,940

Коэффициент усиления α = 1,000

Запас прочности $(K_{расч}-K_{тр})/K_{тр} \cdot 100\%$ = 6%

Грунт земляного полотна

Параметры материала

Суглинок лёгкий пылеватый

Угол внутреннего трения φ = 6,7 °

Сцепление c_p = 0,008 МПа

Стат. угол внутреннего трения $\varphi_{ст}$ = 18,6 °

Коэффициент деформации K_d = 1,0

Параметры двухслойной модели

Средневзвешенный модуль упругости верхних слоёв E_v = 343,27 МПа

Модуль упругости на поверхности расчётного слоя E_n = 47,60 МПа

Средневзвешенный удельный вес верхних слоёв γ = 0,0019 кг/см³

Глубина расположения расчётного слоя $Z_{оп}$ = 98,0 см

Удельное активное напряжение сдвига τ = 0,01447 МПа

Расчётное активное напряжение сдвига T = 0,009 МПа

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ = 0,01411 МПа

Расчётный коэффициент прочности $K_{расч}$ = 1,630

Требуемый коэффициент прочности $K_{тр}$ = 0,940

Коэффициент усиления α = 1,000

Запас прочности $(K_{расч}-K_{тр})/K_{тр} \cdot 100\%$ = 73%

Результаты расчёта на сопротивление при изгибе

Параметры материала

Асфальтобетон горячей укладки пористый II марки из крупнозернистой щебёночной (гравийной) смеси
марка битума БНД-60/90

Нормативное сопротивление весной $R_0 = 8,00$ МПа

Усталостный показатель степени $m = 4,3$

Коэффициент различия $\alpha = 7,1$

Коэффициент снижения прочности $k_2 = 0,8$

Параметры двухслойной модели

Средневзвешенный модуль упругости монолитных слоёв $E_v = 2800,00$ МПа

Поверхностный модуль упругости нижнего слоя в пакете монолитных слоёв $E_{общ} = 237,72$ МПа

Глубина расположения расчётного слоя $Z_{оп} = 12,0$ см

Коэффициент K_v (двубалонное колесо) = 0,85

Коэффициент усталостного разрушения $k_1 = 0,45$

Наибольшее растягивающее напряжение $\sigma_t = 0,947$ МПа

Прочность материала при изгибе $R_n = 2,477$ МПа

Расчётный коэффициент прочности $K_{расч} = 2,617$

Требуемый коэффициент прочности $K_{тр} = 0,940$

Запас прочности $(K_{расч} - K_{тр}) / K_{тр} * 100\% = 178\%$

Результаты расчёта на морозоустойчивость

Глубина грунтовых вод (от низа дорожной одежды) $H_u \approx 10,22$ м

Коэффициент учёта уровня грунтовых вод $K_{угв} = 0,54$

Пучинистость грунта - Группа 5 (чрезмернопучинистый)

Коэффициент учёта нагрузки от вышележащих слоёв $K_{нагр} = 0,80$

Коэффициент, зависящий от расчётной влажности грунта $K_{вл} = 1,09$

Коэффициент, зависящий от уплотнения слоя $K_{пл} = 0,80$

Коэффициент учёта гранулометрии основания $K_{гр} = 1,30$

Величина морозного пучения при усреднённых условиях $L_{пуч.ср.} = 8,71$ см

Ожидаемая пучинистость грунта $4,26$ см < 80% от допустимой $6,00$ см

Морозозащитный или теплоизолирующий слой не задан: конструкция является морозоустойчивой

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Ведомость площадей полос отвода

ШИФР:

Наименование проекта:

Объект: Вариант 1

| ПК+ | Расстояние, м | Постоянная полоса отвода | | | |
|-----------|---------------|--------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|
| | | лево | | право | |
| | | расстояние, м | площадь, м ² | расстояние, м | площадь, м ² |
| 0+00,000 | | 15,75 | | 16,43 | |
| 1+00,000 | 100,00 | 13,65 | 1470,27 | 14,57 | 1550,06 |
| 2+00,000 | 100,00 | 16,04 | 1484,69 | 15,83 | 1520,10 |
| 2+43,000 | 43,00 | 17,13 | 713,14 | 18,25 | 732,60 |
| 3+00,000 | 57,00 | 12,29 | 838,38 | 12,54 | 877,44 |
| 4+00,000 | 100,00 | 11,41 | 1184,96 | 11,03 | 1178,77 |
| 4+23,000 | 23,00 | 17,39 | 331,15 | 16,73 | 319,27 |
| 5+00,000 | 77,00 | 15,63 | 1271,23 | 14,01 | 1183,53 |
| 5+57,000 | 57,00 | 16,83 | 925,29 | 16,70 | 875,45 |
| 6+00,000 | 43,00 | 17,72 | 742,80 | 15,52 | 692,78 |
| 7+00,000 | 100,00 | 18,88 | 1829,71 | 16,94 | 1622,89 |
| 8+00,000 | 100,00 | 12,69 | 1578,31 | 12,51 | 1472,32 |
| 8+82,000 | 82,00 | 11,80 | 1003,93 | 11,16 | 970,17 |
| 9+00,000 | 18,00 | 12,78 | 221,21 | 12,07 | 209,02 |
| 10+00,000 | 100,00 | 13,94 | 1336,20 | 13,54 | 1280,21 |
| 10+50,000 | 50,00 | 16,76 | 767,46 | 15,62 | 729,00 |
| 11+00,000 | 50,00 | 17,03 | 844,52 | 17,07 | 817,35 |
| 11+85,000 | 85,00 | 16,76 | 1435,85 | 17,35 | 1462,90 |
| 12+00,000 | 15,00 | 17,02 | 253,31 | 18,45 | 268,53 |
| 12+18,000 | 18,00 | 16,62 | 302,72 | 18,48 | 332,41 |
| 13+00,000 | 82,00 | 15,81 | 1329,60 | 16,76 | 1444,76 |
| 13+62,000 | 62,00 | 16,80 | 1010,81 | 18,02 | 1078,21 |
| 14+00,000 | 38,00 | 12,49 | 556,55 | 13,17 | 592,70 |
| 14+84,000 | 84,00 | 13,62 | 1097,00 | 13,38 | 1115,06 |
| 15+00,000 | 16,00 | 12,69 | 210,55 | 12,92 | 210,38 |
| 15+84,000 | 84,00 | 11,32 | 1008,39 | 11,51 | 1025,86 |
| 16+00,000 | 16,00 | 11,31 | 181,03 | 11,28 | 182,25 |
| 16+32,000 | 32,00 | 17,04 | 453,60 | 17,12 | 454,27 |
| 17+00,000 | 68,00 | 25,80 | 1456,37 | 21,33 | 1307,09 |

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
подпись
« 17 » 06 20 21 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

08.03.01 «Строительство»
08.03.01.00.15 «Автомобильные дороги»

Проектирование автомобильной дороги в Ужурском районе

Руководитель Г.В. Гавриленко - 17.06.2021 доцент, к. т. н. Т.В. Гавриленко
подпись, дата
Выпускник А.С. Михайлова - 17.06.21 А.С. Михайлова
подпись, дата

Красноярск 2021

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему «Проектирование автомобильной дороги в Ужурском районе» содержит 112 страниц текстового документа, 16 используемых источников и 6 листов графического материала.

Цель выпускной квалификационной работы: автоматизированное проектирование участка автомобильной дороги в Ужурском районе с помощью программного комплекса IndorCAD/Road, IndorDraw и IndorPavement.

В ходе выполнения работы был выполнен анализ природно-климатических показателей района проектирования, определена категория автомобильной дороги, создана цифровая модель местности, запроектированы два варианта автомобильной дороги, выполнена их комплексная оценка и технико-экономическое сравнение, в ходе которого был выбран безопасный и экономичный вариант. Далее были запроектированы варианты проектной линии продольного профиля дороги двумя методами: классическим (метод тангенсов) и сплайнов и выполнен их сравнительный анализ.

В результате была выбрана проектная линия продольного профиля, построенная методом тангенсов. Также запроектированы две конструкции нежестких дорожных одежд и выбрана экономически выгодная. Кроме того, были запроектированы поперечные профили.

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

подпись

« 24 » 04 2011 г

ЗАДАНИЕ

НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

в форме бакалаврской работы

туденту Михайловой Александре Сергеевне
фамилия, имя, отчество
Группа ДС17-11Б. Направление (специальность) 08.03.01.15
номер код
«Автомобильные дороги»
наименование

Тема выпускной квалификационной работы «Проектирование автомобильной дороги в Ужурском районе»

Утверждена приказом по университету № 3121/с от 04.03.2021
Руководитель ВКР Т. В. Гавриленко, канд. техн. н., доцент, доцент кафедры АДиГС.

Исходные данные для ВКР Данные по интенсивности движения и составу потока:
*легковые автомобили: 59%; автобусов большой вместимости 2%,
грузовые автомобили с нагрузкой на ось: до 2т 12%; от 2 до 6т 7%,
от 6 до 8т 11%; от 8 до 14т 5%;
автопоезда: до 12т 3%; от 12 до 20т 1%;
грунт земляного полотна: асфальт легкий толщ. 10 см*

район проектирования – Ужурский

Перечень основных разделов ВКР:

ВВЕДЕНИЕ

- 1 Природные условия района проектирования
- 2 Обоснование технических нормативов дороги
- 3 Построение цифровой модели местности района проектирования
- 4 Автоматизированное проектирование вариантов трассы
- 5 Построение чертежа упрощенного продольного профиля для альтернативных вариантов трассы
- 6 Комплексная оценка безопасности на проектируемых вариантах дороги
- 7 Проектирование водопропускной трубы
- 8 Автоматизированное проектирование продольного профиля дороги
- 9 Проектирование нежестких дорожных одежд
- 10 Поперечные профили дороги

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечень графического материала:

- 1 Варианты трассы, природные условия
- 2 Комплексная оценка безопасности 1 варианта
- 3 Комплексная оценка безопасности 2 варианта
- 4 Продольный профиль дороги
- 5 Поперечные профили дороги
- 6 Дорожные одежды

Руководитель ВКР

Т.В. Гавриленко

Задание принял к исполнению

подпись, инициалы и фамилия студента

«04» марта 2021 г.