



МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

Д.С. МАРТЯХИН, А.В. КОСЦОВ,  
С.С. МОРДВИН

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(МАДИ)

Кафедра «Изыскания и проектирование дорог»

Утверждаю  
Зав. кафедрой профессор  
\_\_\_\_\_ П.И. Поспелов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Д.С. МАРТЯХИН, А.В. КОСЦОВ,  
С.С. МОРДВИН

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

МОСКВА  
МАДИ  
2018

УДК 625.73:625.72  
ББК 39.311:30.2  
М29

**Мартяхин, Д.С.**

М29 Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие / Д.С. Мартяхин, А.В. Косцов, С.С. Мордвин. – М.: МАДИ, 2018. – 68 с.

В настоящем учебно-методическом пособии рассмотрены вопросы проектирования городских улиц и дорог, принципы назначения технических параметров, особенности проектирования плана, продольных и поперечных профилей. Рассмотрены основные принципы проектирования вертикальной планировки участков городских улиц и их пересечений.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, также оно может быть полезно работникам проектно-изыскательских и других организаций, осуществляющих градостроительную деятельность.

Учебно-методическое пособие подготовлено с учетом СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений», СП 59.13330.2016 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения», ГОСТ Р 21.1101-2013, ГОСТ 21.701-2013 и учитывают современные тенденции в проектировании городских улиц и дорог.

УДК 625.73:625.72  
ББК 39.311:30.2

---

Учебное издание

**МАРТЯХИН** Дмитрий Сергеевич  
**КОСЦОВ** Алексей Валерьевич  
**МОРДВИН** Сергей Сергеевич

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

*Редактор В.В. Виноградова*

*Редакционно-издательский отдел МАДИ. E-mail: rio@madi.ru*

Подписано в печать 20.09.2018 г. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 4,25. Тираж 300 экз. Заказ . Цена 145 руб.  
МАДИ, Москва, 125319, Ленинградский пр-т, 64.

© МАДИ, 2018

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящем учебно-методическом пособии излагаются основные вопросы проектирования улиц в городах, а также вопросы их инженерного обеспечения.

Пособие разъясняет требования основных нормативных документов, регламентирующих проектирование улично-дорожной сети. В нем приводятся обоснования назначения и расчета основных параметров, элементов и конструкций улиц и дорог, их обустройство.

Учебно-методическое пособие подразумевает освоение следующих разделов:

- краткая характеристика природных условий района проектирования;
- определение основных технических нормативов на проектирование улиц;
- проектирование участка магистральной дороги или улицы и улицы местного значения, учитывая сложившуюся застройку;
- проектирование продольных и поперечных профилей по проектируемой и пересекаемой улицам;
- разработка варианта планировочного решения пересечения (выполняется по одной из предложенных тем);
- проектирование фрагмента вертикальной планировки участка магистральной городской дороги или улицы в зоне пересечения методом проектных горизонталей;
- конструирование и расчет дорожной одежды.

Проектные решения вычерчиваются и оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ Р 21.1101-2013, ГОСТ 21.701-2013.

### **1. СОСТАВЛЕНИЕ КРАТКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Характеристику природных условий района проектирования составляют на основе данных, приведенных в имеющихся справочниках, энциклопедиях и атласах по отдельным областям страны [10].

Данные о климатических факторах систематизируют в пояснительной записке в виде таблиц, роз ветров, сводного графика климатических характеристик, общей характеристики рельефа местности, почвенно-грунтовых, гидрологических и гидрогеологических условий. Этот раздел пояснительной записки должен завершаться выводами, которыми обязан руководствоваться автор при дальнейшем проектировании. Все собранные данные по климату оформляют в виде дорожно-климатического графика (прил. 1).

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ УЛИЦЫ

Улицы и дороги населенных мест в зависимости от их назначения и транспортно-эксплуатационной характеристики движения разделяют на категории, каждой из которых соотносят соответствующую расчетную скорость движения. Нормируемые значения этих показателей приведены в табл. 1 [8].

Таблица 1

Наименование		Расчетная скорость движения, км/ч
Магистральная сеть улиц и дорог		
Магистральные городские дороги	1 класса	130, 110, 90
	2 класса	90, 80, 70
Магистральные улицы общегородского значения	1 класса	
	2 класса	70, 60, 50
	3 класса	
Магистральные улицы районного значения		
Местная сеть улиц и дорог		
Улицы в зонах жилой застройки		50, 40, 30
Улицы в общественно-деловых и торговых зонах		
Улицы и дороги в производственных зонах		50

При проектировании объектов нового строительства на незастроенной территории принимают максимальные значения расчетной скорости. При проектировании объектов реконструкции или в условиях сложного рельефа с большими перепадами высот в сложившейся застройке на основании технико-экономического обоснования могут приниматься меньшие из указанных значений расчетных скоростей движения.

Принятая категория улицы и соответствующая ей расчетная скорость движения служат основой для назначения основных технических нормативов, к которым относят: минимальный радиус кривой в плане, максимальный продольный уклон и наименьшие радиусы выпуклых и вогнутых кривых в продольном профиле. Нормируемые значения этих показателей, приведены в прил. 2.

Принятые к проектированию значения показателей применительно к каждой из проектируемых улиц оформляют в табличной форме:

Таблица 2

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Принято
1	Категория проектируемой улицы	–	
2	Расчетная скорость движения	км/ч	
3	Минимальный радиус кривой в плане	м	
4	Максимальный продольный уклон	‰	
5	Минимальный радиус выпуклой кривой в продольном профиле	м	
6	Минимальный радиус вогнутой кривой в продольном профиле	м	

### Пример №1

**Задача.** Определить основные технические параметры, используемые при проектировании магистральной улицы районного значения на незастроенной территории.

**Решение.**

1. Определяем расчетную скорость движения по проектируемой улице.

В соответствии с п. 11.5 (табл. 11.2) СП 42.13330.2016 для категории «магистральная улица районного значения» в условиях строительства на незастроенной территории расчетная скорость составляет – 70 км/ч.

2. Определяем основные технические нормативы.

Значения основных технических нормативов принимаем по п. 11.5 (табл. 11.2) СП 42.13330.2016 в соответствии с назначенной расчетной скоростью движения по проектируемой улице. Значения показателей записываем в табличной форме.

#### Основные технические показатели

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Принято
1	Категория проектируемой улицы	–	Магистральная улица районного движения
2	Расчетная скорость движения	км/ч	70
3	Минимальный радиус кривой в плане	м	230
4	Максимальный продольный уклон	‰	60
5	Минимальный радиус с выпуклой кривой в продольном профиле	м	2600
6	Минимальный радиус вогнутой кривой в продольном профиле	м	800

### 3. РАЗРАБОТКА ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ УЛИЦЫ

#### 3.1. Общие сведения

**Поперечным профилем** городской улицы называют изображение в уменьшенном масштабе сечения улицы вертикальной плоскостью, перпендикулярной к оси этой улицы.

Необходимость обеспечения беспрепятственного пропуска транспорта, пешеходного движения, размещения инженерных сетей, а также экологические вопросы определяют наличие в поперечном профиле следующих основных элементов: **проезжая часть, тротуар и полосы озеленения (газон).**

**Проезжая часть** является основным элементом улицы и предназначена для движения всех видов нерельсового транспорта.\*

В составе **магистральных улиц общегородского значения**, как правило, выделяют **основную проезжую часть**, предназначенную для движения транзитного транспортного потока, а также **проезжую часть боковых проездов**, которая предназначена для движения и стоянки автомобильного транспорта, связанного только с обслуживанием прилегающей территории и застройки. Проезжую часть магистральных улиц районного значения и местную сеть улиц, как правило, проектируют для совместного пропуска всего транспортного потока.

**Трамвайное полотно** (проезжая часть, предназначенная для движения трамвая) устраивают в тех случаях, когда на проектируемой улице необходимо организовать трамвайное движение.

В пределах улиц местного значения трамвайное полотно чаще всего располагают по оси улицы. Асимметричное положение трамвайного полотна применяют на улицах с преимущественно односторонней застройкой – в этих случаях трамвайное полотно смещают в сторону, противоположную застройке. Трамвайное полотно в составе поперечного профиля улиц местного значения располагают, как правило, совместно (в одном уровне) с другими элементами проезжей части.

В пределах магистральных улиц трамвайное полотно располагают на месте бокового проезда. Движение трамвая в таких случаях организуют на обособленном полотне, которое отделяют от проезжей части бортовым камнем, что исключает проезд через трамвайные пути других участников дорожного движения.

**Велосипедные дорожки** (проезжая часть, предназначенная для движения велосипедистов) устраивают для движения велосипедистов.

Их устраивают в первую очередь по тем направлениям, где ожидается большая интенсивность велосипедного движения: в пределах

---

\* При необходимости организации трамвайного сообщения в составе проезжей части улицы может быть допущено его движение.

связей жилых районов с крупными спортивными сооружениями, центром города, местами массового отдыха. Велосипедные дорожки устраивают как одностороннего, так и двухстороннего движения.

**Тротуары** предназначены для движения пешеходов и организации зон их пребывания. Тротуары устраивают, как правило, с двух сторон улиц. Допускают и их одностороннее размещение в случае отсутствия застройки с одной из сторон.

Тротуары выполняют, как правило, с отделением их от проезжей части бортовым камнем и полосой озеленения. Допускается не устраивать полосы озеленения в условиях реконструкции, в стеснённых условиях и в пределах улиц местного значения. В пределах проездов тротуар допускается совмещать с проезжей частью.

**Полосы озеленения** проектируют как самостоятельный элемент поперечного профиля. По функциональному назначению такие полосы могут быть **разделительными, техническими, резервными или рекреационными**. Допускают совместное использование полос озеленения с различным функциональным назначением. **Разделительные полосы** устраивают между различными направлениями движения транспорта и для отделения пешеходов от транспорта. **Технические полосы** предназначены для размещения различных инженерных сооружений, складирования снега и строительства линий внеуличного транспорта. **Рекреационные полосы** служат архитектурно-композиционным и санитарно-гигиеническим целям. Они являются композиционным элементом архитектурно-пространственного решения городского ландшафта и основным фактором, оздоравливающим городскую среду.

Задача проектирования поперечного профиля состоит во взаимном размещении и определении ширины элементов улицы, а также их взаимной высотной увязке. Пример взаимного расположения элементов поперечного профиля магистральных улиц общего городского значения показан на рис. ПЗ.1, прил. 3, улиц районного и местного значений – рис. ПЗ.2 и ПЗ.3, прил. 3 соответственно.

Взаимное расположение и размеры (ширина) элементов улицы зависят от категории улицы, характера застройки, интенсивности транспортного и пешеходного движения, способов отвода поверхностного стока, размещения подземных сетей и климатических условий.

**Проезжая часть** улиц требует применения прочных капитальных типов дорожных одежд. Стоимость строительства таких дорожных одежд довольно высока, тогда как устройство других частей улиц – тротуаров и полос озеленения требуют значительно меньших капиталовложений. Поэтому вопросам назначения ширины проезжей части уделяется повышенное внимание.



### 3.2. Расчет ширины проезжей части городской улицы

**Расчет ширины проезжей части** производят в следующей последовательности:

- а. Расчет количества полос движения.
- б. Определение расчетного автомобиля.
- с. Определение ширины полос движения.
- д. Определение общей ширины проезжей части.

**а. Количество полос движения** определяют исходя из необходимости обеспечить движение транспортных потоков расчетной интенсивности по формуле (1).

$$n = \frac{N}{z \cdot P}, \quad (1)$$

где  $n$  – число полос движения, ед.;  $N$  – суммарная интенсивность движения по проектируемой улице, авт./ч;  $z$  – коэффициент загрузки улицы движением (принимается в пределах 0,6–0,7);  $P$  – пропускная способность полосы движения, авт./ч (принимается в пределах 1800–2200).

**б. Расчет ширины полосы движения** производят с учетом принятого расчетного автомобиля, который рекомендуется устанавливать:

– для двухполосных улиц: в жилых зонах – легковой, в промышленных и коммунально-складских – грузовой;

– для многополосных улиц: для крайней левой полосы – легковой; для крайней правой – грузовой автомобиль или автобус. Расчетный автомобиль для внутренних полос магистральных улиц выбирают в зависимости от состава, ожидаемого по ним движения. Рекомендуемые расчетные автомобили приведены в табл. 3.

Таблица 3

Суммарная интенсивность движения в одном направлении, авт./час	Рекомендуемый расчетный автомобиль на полосе движения, при числе полос в каждую сторону. Г – грузовой, Л – легковой				
	1	2	3	4	5
Грузовых автомобилей менее 30%					
До 1200	Г	Л	Л	Л	Л
120–2000	Г	Г	Л	Л	Л
Свыше 2000	Г	Г	Г	Л	Л
Грузовых автомобилей более 30%					
До 1600	Г	Г	Л	Л	Л
Свыше 1600	Г	Г	Г	Л	Л

с. Определение ширины полос движения производят с учетом следующих положений:

**Ширину полосы движения двухполосной улицы** (с двухсторонним движением) рассчитывают по формуле (2):

$$B_{п.д.}^{дп} = x + y + A, \quad (2)$$

где  $B_{п.д.}^{дп}$  – ширина полосы движения двухполосной проезжей части улицы, м;  $A$  – ширина расчетного транспортного средства, принимаемая равной 2,0 м для легкового автомобиля, 2,5 м – для грузового;  $x$ ,  $y$  – зазоры безопасности, м (рис. 1).

$$x = 0,3 + 0,005v, \quad (3)$$

$$y = 0,5 + 0,005v, \quad (4)$$

где  $v$  – расчетная скорость движения, км/ч.

**Ширину крайней левой и крайней правой полос многополосной улицы** рассчитывают по формулам (5) и (6) соответственно:

$$B_{п.д.}^{мп1} = x + 0,5 \cdot D + A, \quad (5)$$

$$B_{п.д.}^{мп2} = y + 0,5 \cdot D + A, \quad (6)$$

где  $D$  – зазор безопасности на многополосных проезжих частях, м (рис. 1, табл. 4).

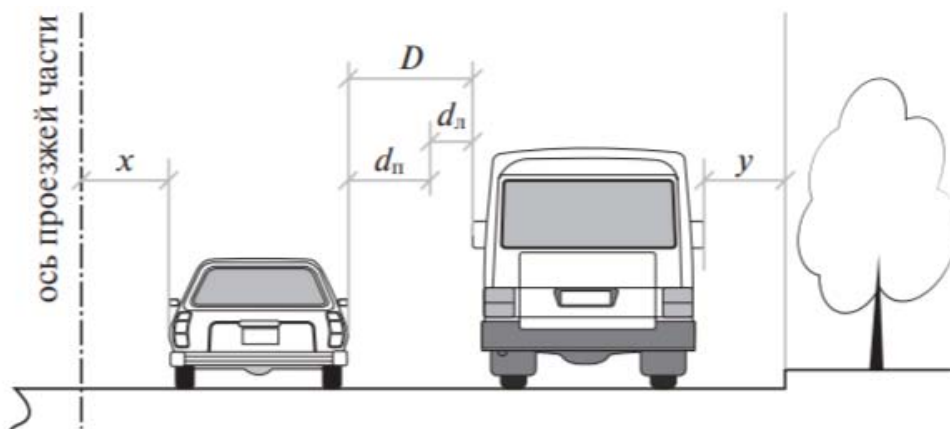


Рис. 1. Схема определения ширины полос движения многополосных проезжих частей городских улиц

Таблица 4

Расчетный автомобиль	Значение зазора безопасности, $D$ , м
Легковой – легковой	0,9
Легковой – грузовой	1,0
Грузовой – грузовой	1,1

При наличии вдоль крайней левой полосы бортового камня ширину такой полосы рассчитывают по формуле (6).

**Ширину внутренней полосы движения многополосной улицы** рассчитывают по формуле (7)

$$B_{п.д.}^{мп3} = D + A, \quad (7)$$

где  $D$  – зазор безопасности на многополосных проезжих частях, м.

Окончательно ширину проезжей полосы движения принимают округляя полученное расчетом значение  $B_{п.д.}$  до ближайшего значения, кратного 0,25 м. Полученные расчетом значения ширины полос движения большие  $B_{п.д.} = 3,75$  м ограничивают этой величиной.

На местной сети улиц и дорог, учитывая невысокие скорости движения (50 км/ч и менее), для легковых автомобилей допускают ширину полосы движения – 3,0 м, грузовых – 3,5 м.

Между основной проезжей частью и бортовым камнем на магистральных улицах непрерывного движения предусматривают краевые предохранительные полосы. Ширину краевых полос назначают в зависимости от принятого типа барьерного ограждения (при его наличии) и условий видимости, но не менее 0,75 м.

**d. Общую ширину проезжей части** устанавливают на основании данных о ширине полос движения и их количестве по формуле (8):

$$B = \sum_{i=1}^n B_{п.д.}^i + B_{к.п.}, \quad (8)$$

где  $B$  – общая ширина проезжей части, м;  $B_{п.д.}^i$  – ширина полосы движения  $i$ -го ряда движения, м;  $B_{к.п.}$  – общая ширина краевых полос (при наличии), м.

### 3.3. Расчет ширины тротуаров

Ширину тротуара ( $B$ ) определяют расчетом по формулам (9)–(11), но принимают не меньше значения указанного в таблице прил. 2:

$$B = Z + L + d; \quad (9)$$

$$Z = r \cdot m + k; \quad (10)$$

$$m = \frac{N}{p}, \quad (11)$$

где  $B$  – общая ширина тротуара, м;  $Z$  – основная зона пешеходного движения (прохожая часть), м;  $L$  – суммарная ширина полос размещения мачт освещения, малых архитектурных форм, озеленения и других элементов благоустройства;  $d$  – зазор безопасности, м;  $r$  – ширина одной полосы движения пешеходов, равная 0,75 м;  $m$  – требуемое количество полос движения (полученное при расчете нецелое значение следует округлять в большую сторону до целого значения);  $k$  – количество запасных полос движения пешеходов (для тротуаров  $k = 1$ );  $N$  – интенсивность движения пешеходов в час пик (суммарно в двух на-

правлениях), чел./ч;  $p$  – нормативная пропускная способность одной полосы движения, чел./ч (принимается 800 чел./ч).

Зазор безопасности ( $d$ ) принимают:

- в случае примыкания основной зоны пешеходного движения непосредственно к стенам здания – 0,5 м;
- при примыкании основной зоны пешеходного движения непосредственно к проезжей части – 0,3 м.

### 3.4. Назначение ширины полос озеленения

Назначение ширины полос озеленения в поперечном профиле в зависимости от выполняемой ими функции производят:

- в целях разделения элементов поперечного профиля – в соответствии с табл. 5.
- в целях размещения инженерных сетей – в соответствии с планом их раскладки. Для предварительных расчетов назначение ширины технических полос допускают: в пределах магистральных улиц общегородского значения – 8,0 м, районного значения – 5,0 м.
- в рекреационных целях – не менее 6,0 м.
- с целью резервирования места под перспективное строительство – индивидуально с учетом стадийного развития поперечного профиля.

Таблица 5

Местоположение полосы	Ширина полосы на улицах, м		
	общегородского значения		районного значения
	скоростного и непрерывного движения	регулируемого движения	
Центральная разделительная	4,0/2,65	3,5/2,65	3,5/–
Между основной проезжей частью и местными или боковыми проездами	3,0	3,0/2,0	–
Между проезжей частью и трамвайным полотном	3,0/2,0	1,0/–	–
Между проезжей частью и тротуаром	3,0	3,0	2,0/–
Между тротуаром и трамвайным полотном	2,0	–	–

#### **Примечания.**

1. В числителе даны значения для нового строительства, в знаменателе – в стесненных условиях и при реконструкции.
2. В стесненных условиях и при реконструкции на магистральных улицах и дорогах регулируемого движения, при обеспечении расчетной скорости движения не более 70 км/ч, центральную разделительную полосу допускается не устраивать или принимать полосу шириной меньше, приведенных в настоящей таблице значений.

### 3.5. Вертикальное решение поперечного профиля

Поперечные уклоны элементов поперечного профиля городских улиц назначают из условий обеспечения водоотвода и безопасности движения транспорта и пешеходов. Направление поперечных уклонов определяется положением лотка. Величина поперечного уклона зависит от типа покрытия.

Для покрытий из асфальтобетона рекомендуемым является уклон 20‰, который обеспечивает быстрое осушение проезжей части при ширине одного ската до 15 м. При большей ширине на правой полосе движения толщина пленки воды может достигать более 15 мм, что может сказаться на безопасности движения. При ширине одного ската проезжей части более 15 м поперечный уклон должен быть увеличен до 25–30‰. В пределах проезжих частей по местным условиям значение поперечного уклона может быть уменьшено до 10‰, в пределах тротуаров – до 5‰.

На улицах и дорогах городов необходимо обеспечить условия движения маломобильных групп населения. Безопасные условия движения этой группы населения возможны на покрытиях с поперечным уклоном, не превышающим 20‰, поэтому в пределах тротуаров, а также проезжих частей, предназначенных для пешеходных переходов, более высокие значения поперечного уклона применять не рекомендуется.

Для разделительных полос, технических зон, а также полос озеленения размер и направление поперечного уклона выбирают таким образом, чтобы вода с них, несущая с собой частицы грунта и растений, не попадала на тротуары и проезжую часть. На полосах озеленения при их ширине до 4 м поперечные уклоны не рекомендуются, а бортовые камни, окаймляющие эти полосы, должны быть выше их поверхности не менее чем на 5 см. Это предотвращает попадание воды с полос озеленения на тротуар и проезжую часть. На более широких полосах предусматривают вогнутый поперечный профиль с уклонами не менее 20‰. Возможен и односкатный поперечный профиль этих полос, но с обязательным расположением лотка по границе полосы озеленения. При ширине полосы озеленения более 6 м поперечный уклон не рекомендуется принимать более 40‰ из-за опасности размыва грунта.

#### Пример №2

**Задача.** Запроектировать поперечный профиль городской улицы в условиях примера №1 при следующих исходных данных:

- перспективная интенсивность движения  $N = 5000$  прив. авт./ч;
- процент грузовых автомобилей в транспортном потоке – 15%;
- трамвайное сообщение отсутствует;

- перспективная интенсивность движения пешеходов  $N_n = 2000$  чел./ч, функции рекреации не предусмотрены;
- ширина полос размещения мачт освещения, малых форм, озеленения и других элементов благоустройства – 1,0 м.

### Решение.

1. Разработку поперечного профиля начинаем с назначения ширины проезжей части в следующей последовательности:

- расчет количества полос движения;
- определение расчётного автомобиля;
- определение ширины полос движения;
- определение общей ширины проезжей части.

1.1. Количество полос движения определяем исходя из необходимости обеспечить движение транспортных потоков расчетной интенсивности по формуле (1), округляя полученное значение до ближайшего целого четного числа:

$$n = \frac{N}{z \cdot P} = \frac{5000}{0,7 \cdot 2000} = 3,57 = 4.$$

1.2. Расчётный автомобиль на проектируемой улице принимаем с учетом процента движения грузовых автомобилей в составе транспортного потока – 15%, интенсивности движения в одном направлении  $N_1 = N/2 = 5000/2 = 2500$  прив. авт./ч. В соответствии с данными табл. 3 расчетный автомобиль принят для всех полос движения – грузовой (Г).

1.3. Определение ширины полос движения:

Ширину внутренних полос движения определим по формуле (5):

$$B_{п.д.}^{мп1} = x + 0,5 \cdot D + A;$$

где  $A = 2,5$  м;  $x = 0,3 + 0,005 \cdot v = 0,3 + 0,005 \cdot 70 = 0,3 + 0,35 = 0,65$  м,  $D = 1,1$  м. Тогда

$$B_{п.д.}^{мп1} = x + 0,5 \cdot D + A = 0,65 + 0,55 + 2,5 = 3,7 \text{ м.}$$

Окончательно ширину проезжей полосы движения принимаем округляя полученное расчетом значение до ближайшего большего значения, кратного 0,25 м:

$$B_{п.д.}^{мп1} = 3,75 \text{ м.}$$

Ширину внешних полос движения определим по формуле (6):

$$B_{п.д.}^{мп2} = y + 0,5 \cdot D + A;$$

где  $y = 0,5 + 0,005 \cdot v = 0,3 + 0,005 \cdot 70 = 0,5 + 0,35 = 0,85$  м,  $D = 1,1$  м.

Тогда

$$B_{п.д.}^{мп1} = y + 0,5 \cdot D + A = 0,85 + 0,55 + 2,5 = 3,9 \text{ м.}$$

Полученные расчетом значения ширины полос движения большие  $B_{п.д.} = 3,75$  м ограничиваем этой величиной. Окончательно принимаем:

$$B_{п.д.}^{мп1} = 3,75 \text{ м.}$$

2. Произведем расчет ширины тротуара по формуле (9):

$$B = Z + L + d;$$

где  $Z = 0,75 \cdot (m + k)$ ;  $m = \frac{N}{p}$ .

По условиям задачи  $L = 1,0$ .

Учитывая, что проектирование ведется в незастроенных территориях:  $d = 0$ .

Тогда, с учетом округления  $m = \frac{N}{p}$  до ближайшего большего целого числа:

$$B = 0,75 \cdot \left( \frac{N}{p} + 1,0 \right) + 1,0 = 0,75 \cdot \left( \frac{2000}{800} + 1,0 \right) + 1,0 = 4,0 \text{ м.}$$

3. Назначим ширину полос озеленения.

Учитывая, что рекреационные функции не предусмотрены настоящим поперечным профилем, ширину полос озеленения назначаем исходя из необходимости разделения транспортных и пешеходных потоков, а также с учетом перспективной прокладки инженерных коммуникаций.

На магистральных улицах районного значения в целях размещения инженерных сетей допускают расположение одной технической полосы шириной – 5,0 м.

В целях разделения элементов поперечного профиля ширины разделительных полос назначаем в соответствии с табл. 1:

– ширину центральной разделительной полосы назначаем  $B_{\text{црп}} = 3,5$  м, как для условий строительства на незастроенных территориях.

– ширину разделительной полосы между проезжей частью и тротуаром назначаем  $B_{\text{рпт}} = 2,0$  м, как для условий строительства на незастроенных территориях.

Окончательно поперечный профиль примет вид, указанный на рис. 1а:

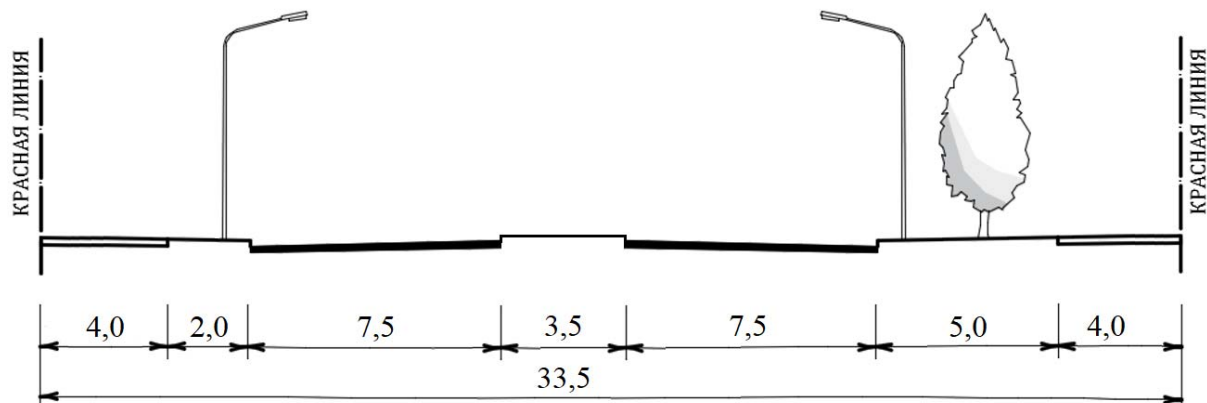


Рис. 1а. Поперечный профиль городской улицы

## **4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЛИЦЫ В ПЛАНЕ**

### **4.1. Общие положения**

Проектирование городских улиц в плане выполняют на карте в масштабе 1:2000 (1:1000, 1:500). При выборе направления улицы учитывают следующие исходные данные: топографические, гидрогеологические и гидравлические. На основании этих данных формулируют основные требования к трассированию улицы. Они включают в себя удобство и безопасность движения, экологическую безопасность, экономичность строительства.

Поскольку улица является местом водосбора и отвода поверхностных вод со всей прилегающей территории, ее трассу рекомендуется совмещать с естественными тальвегами.

Проектирование городских улиц ведут с учетом окружающего ландшафта, стремясь к тому, чтобы улица хорошо гармонировала с прилегающей территорией. При этом следует избегать высоких насыпей и глубоких выемок, снижающих обзор окружающей местности. На всех элементах улицы должно быть обеспечено расстояние видимости, достаточное для безопасного движения транспортных средств и пешеходов.

### **4.2. Трассирование улицы**

При трассировании улиц руководствуются величинами элементов плана, определенными в разделе 2. Эти значения рассматривают как минимально допустимые и применяют в исключительных случаях. В остальных случаях, когда это не вызывает дополнительных объемов земляных работ, ориентируются на большие значения.

На первом этапе необходимо разработать варианты двух трасс (магистральная улица и улица местного значения) и нанести их на карту в виде сочетания прямых и кривых линий. Эти линии будут являться первым приближением плана улиц. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы угол пересечения двух улиц был близок к прямому, а кривые располагались на второстепенной улице (местного значения). Не следует прокладывать трассу улицы по участкам, где уклоны местности вдоль ее направления превышают или близки к максимально допустимому. Это может привести к необоснованному устройству глубоких выемок и высоких насыпей.

На магистральных улицах непрерывного движения предусматривают переходные кривые, а при использовании минимальных радиусов в плане – вираж. Для обеспечения возможности размещения переходных кривых и отгона виража между двумя круговыми кривыми,



направленными в одну сторону следует избегать коротких прямых вставок. При вписывании переходной кривой, ее половину располагают до начала (после конца) круговой кривой.

### 4.3. Назначение параметров кривых в плане

Намеченные прямые и кривые линии трассы улиц заменяют ломаными. Фиксируют положение вершин углов поворота и измеряют величину углов. Для определения радиуса рассчитывают его предварительное значение по измеренной биссектрисе:

$$R' = \frac{B'}{\left( \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)}, \quad (12)$$

где  $R'$  – предварительное значение радиуса, м;  $B'$  – значение биссектрисы, м;  $\alpha$  – угол поворота трассы, °.

Полученное значение радиуса кривой в плане сравнивают с минимально допустимым в соответствии с нормативными документами.

Если требование не выполняется, то необходимо перепроектировать участок плана, изменив при этом положение вершины угла или величину радиуса кривой в плане.

Если требование выполняется, то на план наносят основные точки круговой кривой (начало кривой, конец кривой, середина кривой и биссектриса). При этом величину радиуса допускается округлять для упрощения дальнейших расчетов. Одновременно необходимо определить основные параметры круговой кривой:

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad (13)$$

$$K = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180^\circ}; \quad (14)$$

$$B = R \cdot \left( \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right); \quad (15)$$

$$Д = 2T - K. \quad (16)$$

Полученные данные выписывают на план и одновременно заносят в ведомость углов поворота, прямых и кривых (рис. П4.1, прил. 4). При использовании переходных кривых необходимо определить их длину и отложить на плане перед круговой кривой и после нее. Длину переходной кривой определяют по формуле:

$$L = \frac{V_p^3}{47 \cdot R \cdot j}, \quad (17)$$

где  $L$  – длина переходной кривой, м;  $R$  – радиус кривой в плане, м;  $V_p$  – расчетная скорость, км/ч;  $j$  – величина нарастания центробежного ускорения, м/с<sup>3</sup>.

Величину нарастания центробежного ускорения определяют из значений радиуса кривой в плане и расчетной скорости (рис. 2). Значения  $j$  на графике, лежащие ниже кривой 2, удовлетворяют режимам движения основной массы водителей (85%), поэтому рекомендуются в качестве расчетных. Область рабочих значений  $j$  лежит между кривыми 2 и 1 [5].

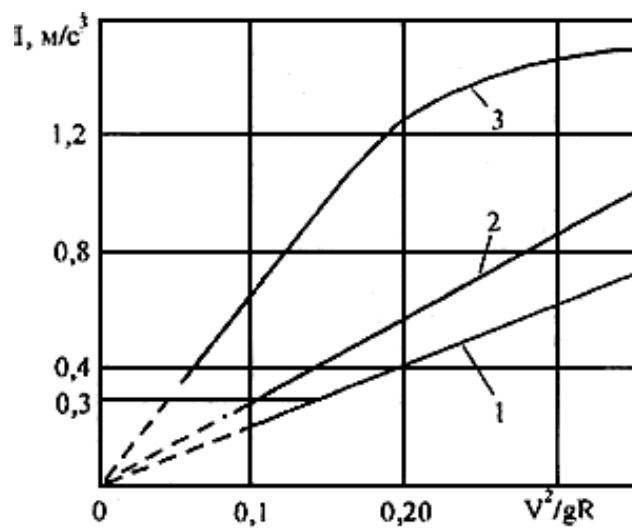


Рис. 2. График для определения расчетного нарастания центробежного ускорения

При использовании виража, необходимо определить длину участка его отгона. Это значение определяют в зависимости от ширины проезжей части, поперечного уклона виража и дополнительного уклона, возникающего при подъеме наружной кромки проезжей части над проектным уклоном при отгоне виража:

$$L_{\text{отг}} = \frac{B i_{\text{в}}}{i_{\text{доп}}}, \quad (18)$$

где  $L_{\text{отг}}$  – длина отгона виража, м;  $B$  – ширина проезжей части, м;  $i_{\text{в}}$  – уклон виража, в долях единицы;  $i_{\text{доп}}$  – дополнительный уклон (для магистральных улиц – 0,01, для местных улиц – 0,005), в долях единицы.

Аналогичным образом определяют параметры для всех остальных кривых в плане. При этом необходимо исключить наложение двух соседних круговых кривых. Каждая последующая кривая должна начинаться после конца предыдущей. При наложении кривых друг на друга следует, если это возможно, уменьшить радиус кривой или из-

менить местоположение вершины угла поворота. Если две соседние кривые направлены в разные стороны, то необходимо оставлять прямую вставку не менее 100–150 м.

После назначения радиусов кривых в плане и определения положения основных точек круговых и переходных кривых по каждой из проектируемых улиц разбивают пикетаж. На застроенных территориях пикетаж принимают с шагом 20 м. При разбивке пикетажа, детально определяют положение пикетов на участках круговых кривых. Для этого удобнее всего использовать метод прямоугольных координат (рис. 3).

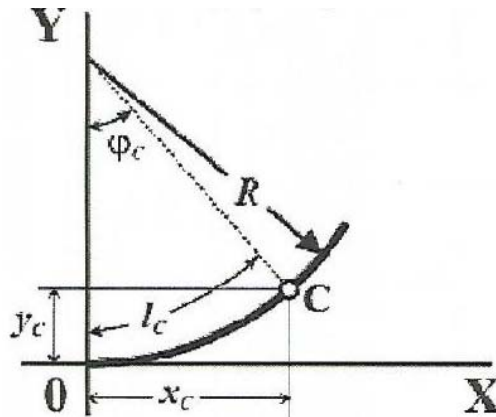


Рис. 3. Схема к разбивке пикетажа на круговых кривых

$$\varphi_c = \frac{l_c \cdot 180}{\pi \cdot R};$$

$$x_c = R \sin \varphi_c;$$

$$y_c = 2R \sin^2 \frac{\varphi_c}{2};$$

где НК – располагаемое в конце или в начале круговой кривой начало системы координат;  $l_c$  – расстояние от начала или конца круговой кривой до данной точки, м;  $\varphi_c$  – угол, стягивающий дугу длиной  $l_c$ , °;  $x_c$ ,  $y_c$  – координаты точки С.

#### 4.4. Оформление плана

План улиц оформляют в соответствии с ГОСТ 21.701-2013. Пример оформления представлен на рис. П4.2, прил. 4. Для каждой улицы указывают:

- начало и конец трассы;
- километровые указатели, штрихами показывают положение пикетов, подписывают пикеты;
- около вершин углов поворота выписывают их параметры;
- подписывают начало и конец круговых и переходных кривых.

### Пример №3

**Задача.** Определить пикетажные значения начала (НKK) и конца (KKK) круговой кривой при следующих исходных данных:

- угол поворота  $\alpha = 25^\circ$ ;
- радиус круговой кривой  $R = 1000$  м;
- расстояние от НТ до ВУ1 составляет 420 м.

**Решение.**

1. Находим пикетажное значение вершины угла: ПК ВУ1 4+20.

2. Определяем основные элементы круговой кривой:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 1000 \operatorname{tg} \frac{25}{2} = 221,69 \text{ м};$$

$$K = \frac{R\pi\alpha}{180} = \frac{1000 \cdot \pi \cdot 25}{180} = 436,33 \text{ м};$$

$$B = R \cdot \left( \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) = 1000 \left( \frac{1}{\cos \frac{25}{2}} - 1 \right) = 24,28 \text{ м};$$

$$Д = 2T - K = 2 \cdot 221,69 - 436,33 = 7,05 \text{ м}.$$

3. Определяем пикетажное значение начала и конца круговой кривой:

$$\text{ВУ1} - T = \text{ПК НKK} = \text{ПК ВУ1 } 4+20,00 - 221,69 = \text{ПК НKK } 1+98,31;$$

$$\text{ПК НKK} + K = \text{ПК КKK} = \text{ПК НKK } 1+98,31 + 436,33 = \text{ПК КKK } 6+34,64.$$

По известному пикетажному значению начала и конца круговых кривых вычисляем длины прямых вставок. Заполняем ведомость углов поворота, прямых и кривых.

## 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ УЛИЦЫ

### 5.1. Общие положения

При проектировании продольного профиля городской улицы необходимо стремиться к тому, чтобы была обеспечена плавность трассы, а также безопасность движения с расчетной скоростью. При спокойном рельефе местности продольный профиль проектируют с небольшими уклонами, обеспечивающими отвод поверхностных вод по лоткам проезжей части. Следует избегать горизонтальных участков по лоткам проезжей части.

Исходными данными для проектирования проектной линии являются: геометрические параметры элементов продольного профиля (определенные расчетом или принятые в соответствии с нормативными документами); отметки поверхности земли по оси улицы; инженерно-геологические условия района проектирования.

Продольный профиль вычерчивают по строго регламентированной форме (прил. 5), используя боковик, изображенный на рис. 4.

Тип местности по увлажнению*			8
Проектные данные	Тип поперечного профиля	слева	8
		справа	8
	Уклон, ‰; вертикальная кривая, м		10
	Отметка оси дороги, м		15
Фактические данные	Отметка рельефа, м		15
	Расстояние, м		10
Пикет, элементы плана, километры			20
10	45	20	

\* Графу приводят при необходимости.

Рис. 4. Боковик продольного профиля улиц на застроенной территории [2]

Сначала вычерчивают нижнюю часть документа, заполняют сетку продольного профиля и строят профиль поверхности рельефа по оси улицы. При необходимости строят грунтовый разрез с указанием скважин.

Заполняют строку «Пикет, элементы плана, километры» боковика. Для этого берут данные с плана улиц и ведомостей углов поворота, прямых и кривых. Для прямых участков указывают их длину. Круговые и переходные кривые показывают с помощью соответствующих скобок, в пределах которых подписывают все характеристики углов поворота, а также указывают пикетажные значения начала и конца кривых.

Строку «Расстояние» заполняют исходя из разбитого на плане пикетажа с шагом 20 м.

В строке «Отметка рельефа» записывают отметки земли по оси улицы. Продольный профиль рельефа по оси улицы представляют с помощью пикетов и характерных (плюсовых) точек.

Далее по отметкам рельефа строят линию поверхности земли – «черную линию». Параллельно этой линии, ниже на 2 см, проводят линию, от которой выполняют построение геологического профиля. Его вычерчивают в своем масштабе. В необходимых местах указывают положение шурфов и скважин. Уровни залегания грунтов показывают отметками. Расстояния между шурфами и скважинами принимают в соответствии с нормативными документами.

### **5.2. Определение контрольных (опорных) точек**

На застроенных территориях характер снегопереноса и водно-теплового режима отличается от загородных автомобильных дорог. Поэтому руководящая рабочая отметка при проектировании продольного профиля не является определяющей. Перед нанесением проектной линии необходимо определить контрольные (опорные точки). Такими точками являются: отметки на пересечениях в одном уровне, отметки на площадях, углах кварталов и красных линиях, а также отметки ЛЭП, мостов, путепроводов, тоннелей, заложений крупных подземных сетей и других инженерных сооружений.

При пересечении улиц в одном уровне целесообразно наносить проектную линию главной (магистральной) улицы не привязываясь к точке их пересечения. Далее определять проектную отметку в точке пересечения. И использовать ее как контрольную точку при проектировании второстепенной улицы (местного значения).

### **5.3. Проектирование проектной линии методом «тангенсов»**

После нанесения на продольный профиль «черной линии» и контрольных (опорных) точек приступают к нанесению проектной линии. Намечают варианты проектной линии, которые наносят на продольный профиль карандашом в виде сочетания плавных прямых и кривых линий. Это первое приближение проектной линии. Одновременно необходимо контролировать геометрические параметры элементов продольного профиля на соответствие предельно допустимым значениям, определенным в разделе 2.

На улицах городов необходимо обеспечить условия движения маломобильных групп населения, поэтому при назначении предельных величин продольных уклонов тротуара необходимо руководствоваться допустимыми значениями, определенными в нормативных документах для маломобильных групп населения.

Проектная линия должна учитывать геометрию плана трассы (положение кривых и прямых вставок в плане). Переломы продольного профиля рекомендуется располагать в пределах кривых в плане. Расстояния между переломами продольного профиля должны обес-

печивать вписывание двух соседних вертикальных кривых. Для улучшения условий видимости направления трассы кривые в плане рекомендуется начинать раньше кривых в продольном профиле.

Для обеспечения водоотвода не допускаются уклоны менее 5‰.

Проектная линия заменяется ломаной линией (тангенсами). Одновременно фиксируют положения вершин переломов ломаной линии и заносят их в соответствующую строку продольного профиля.

Определяют значения продольных уклонов ломаной линии.

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l}, \quad (19)$$

где  $i$  – уклон, в долях единицы;  $\Delta h$  – превышение вершин, м;  $\Delta l$  – заложение (длина отрезка ломаной), м.

В масштабах продольного профиля определяют длину  $\Delta l'$  и превышение  $\Delta h'$  отрезка ломаной. Вычисляют уклон  $i'$ . Рассчитанное значение уклона сопоставляют с максимально допустимым. Если требование выполняется, то значение уклона округляют до целых значений и записывают в строку «Уклон, вертикальная кривая» продольного профиля. Поскольку в результате округления изменяются отметки точек, при необходимости, корректируют положение отрезка ломаной линии на чертеже. При этом необходимо следить за прохождением проектной линии через контрольные точки. Если требование не выполняется, следует изменить положение вершин ломаной линии.

После назначения уклонов на всех отрезках ломаной определяют значения радиусов вертикальных выпуклых и вогнутых кривых. Радиусы кривых в продольной профиле вычисляют по измеренным с учетом вертикального масштаба значениям биссектрис:

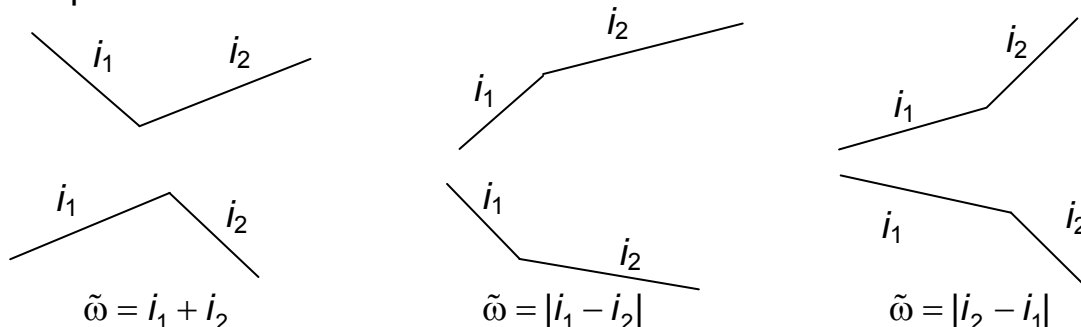
$$R' = \frac{8 \cdot B'}{\tilde{\omega}^2}, \quad (20)$$

где  $R'$  – предварительное значение радиуса вертикальной кривой, м;  $B'$  – биссектриса, измеренная с учетом вертикального масштаба, м;  $\tilde{\omega}$  – алгебраическая разность уклонов, в долях единицы.

Величина алгебраической разности уклонов зависит от знака уклона и его величины:

$$\tilde{\omega} = |i_1 - i_2|. \quad (21)$$

При этом:



Значение полученного радиуса  $R'$  сопоставляют с минимально допустимым значением. Если требование нормативных документов выполняется, то значение  $R'$  округляют для упрощения дальнейших расчетов. Если значение  $R'$  меньше минимально допустимого, то следует либо принять значение равным минимальному, либо изменить положение вершин ломаной, либо изменить положение первого приближения красной линии. В последних двух случаях следует изменить значения продольных уклонов, зафиксированных ранее в соответствующей строке продольного профиля.

По установленному значению радиуса вертикальной кривой вычисляют значения всех остальных ее параметров:

$$K = R \cdot \tilde{\omega}; \quad (22)$$

$$T = \frac{K}{2}; \quad (23)$$

$$B = \frac{T^2}{2R}, \quad (24)$$

где  $K$  – длина кривой, принимаемая при расчете равной ее горизонтальной проекции, м;  $T$  – тангенс вертикальной кривой (горизонтальная проекция расстояния от вершины до начала или конца кривой), м.

Данные вычисления выполняют для всех переломов ломаной. При этом не допускается наложение соседних кривых друг на друга. Пикетажное значение начала последующей кривой должно быть больше пикетажного значения конца предыдущей. В случае наложения следует уменьшить радиусы соседних кривых, но не менее нормативного, либо изменить положение вершин ломаной линии.

После расчета параметров всех вертикальных кривых определяют отметки ломаной линии на всех пикетах и записывают в соответствующую строку продольного профиля. Перед началом расчета отметка хотя бы одной точки должна быть известна (начало или конец, отметка пересечения, отметка по мосту или эстакаде и т.д.).

Вычисляют рабочие отметки, положительные значения подписывают над проектной линией, отрицательные без знака под ней.

В пределах вертикальных кривых вводят поправки к рабочим и проектным отметкам:

$$\Delta h = \frac{l^2}{2R}, \quad (25)$$

где  $\Delta h$  – поправка к рабочей отметке в пределах кривой, м;  $R$  – радиус вертикальной кривой, м;  $l$  – расстояние от начала или конца кривой до пикета или плюсовой точки, м.

Все отметки вычисляют и представляют на чертеже с точностью до сантиметра.



#### 5.4. Оформление продольного профиля улицы

Продольный профиль улицы оформляют в соответствии с ГОСТ 21.701-2013. Пример оформления представлен в прил. 5. При заполнении необходимо руководствоваться следующим. Все проектные данные подписывают и вычерчивают красным цветом, все существующие данные – черным.

### 6. ПОСТРОЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКИ

#### 6.1. Общие сведения

Вертикальная планировка (планирование) городских территорий – это комплекс инженерных мероприятий по искусственному изменению и преобразованию существующего рельефа с целью соответствия его требованиям градостроительства.

Вертикальная планировка городских территорий позволяет:

- организовать сток поверхностных вод;
- обеспечить безопасные условия движения транспорта и пешеходов;
- обеспечить минимальные затраты при разработке и транспортировке грунта.

Указанные задачи решают в процессе составления проекта вертикальной планировки городских территорий. В зависимости от решаемых задач может быть выбран один из следующих методов разработки вертикальной планировки:

**Метод проектных отметок** заключается в установлении опорных высотных точек проектируемой поверхности и применяется на ранних стадиях разработки проектной документации. При помощи этого метода решают вопросы взаимной высотной увязки значительных площадей городских территорий – микрорайонов и районов при обеспечении минимума земляных работ.

**Метод проектных горизонталей** является детальным методом разработки вертикальной планировки, при котором запроектированная поверхность отображается на геодезическом плане при помощи проектных («красных») горизонталей, отображающих проектируемый рельеф местности. Этот метод детально решает задачи обеспечения стока поверхностных вод и безопасных условий движения транспорта и пешеходов.

#### 6.2. Построение вертикальной планировки методом проектных горизонталей

Исходными данными для выполнения вертикальной планировки методом проектных горизонталей является план проектируемой ули-

цы с нанесенной ведущей (осевой) линией, точками перелома проектной линии и значениями продольных уклонов между ними, которые наносятся на план в соответствии с данными запроектированного продольного профиля (рис. 5).

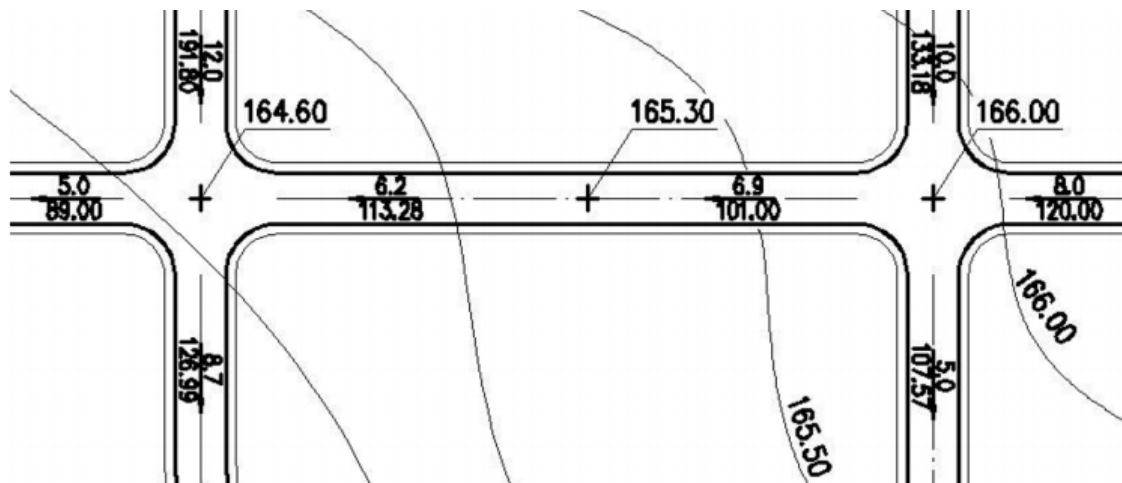


Рис. 5. Пример представления исходных данных

Вертикальную планировку методом проектных горизонталей выполняют графоаналитическим способом в следующем порядке:

- 1) устанавливают положение проектных горизонталей на ведущей (осевой) линии проектируемой улицы;
- 2) устанавливают положение горизонталей на поверхности улицы с учетом ее поперечных уклонов.

Последовательность выполнения вертикальной планировки улицы показана на рис. 6.

Для определения положения проектных горизонталей на ведущей линии необходимо, помимо продольного уклона, знать сечение горизонталей и проектную отметку какой-либо точки этой линии. Сечение горизонталей принимают в зависимости от характера рельефа местности и принятого масштаба – см. табл. 6.

Таблица 6

Уклон поверхности, ‰	Рекомендуемый шаг сечения горизонталей, м, при масштабе		
	1:500	1:1000	1:2000
До 5	0,1	0,1	0,2
5–10	0,1	0,2	0,2
10–30	0,1–0,2	0,25	0,5
Более 30	0,2–0,25	0,25–0,5	0,5

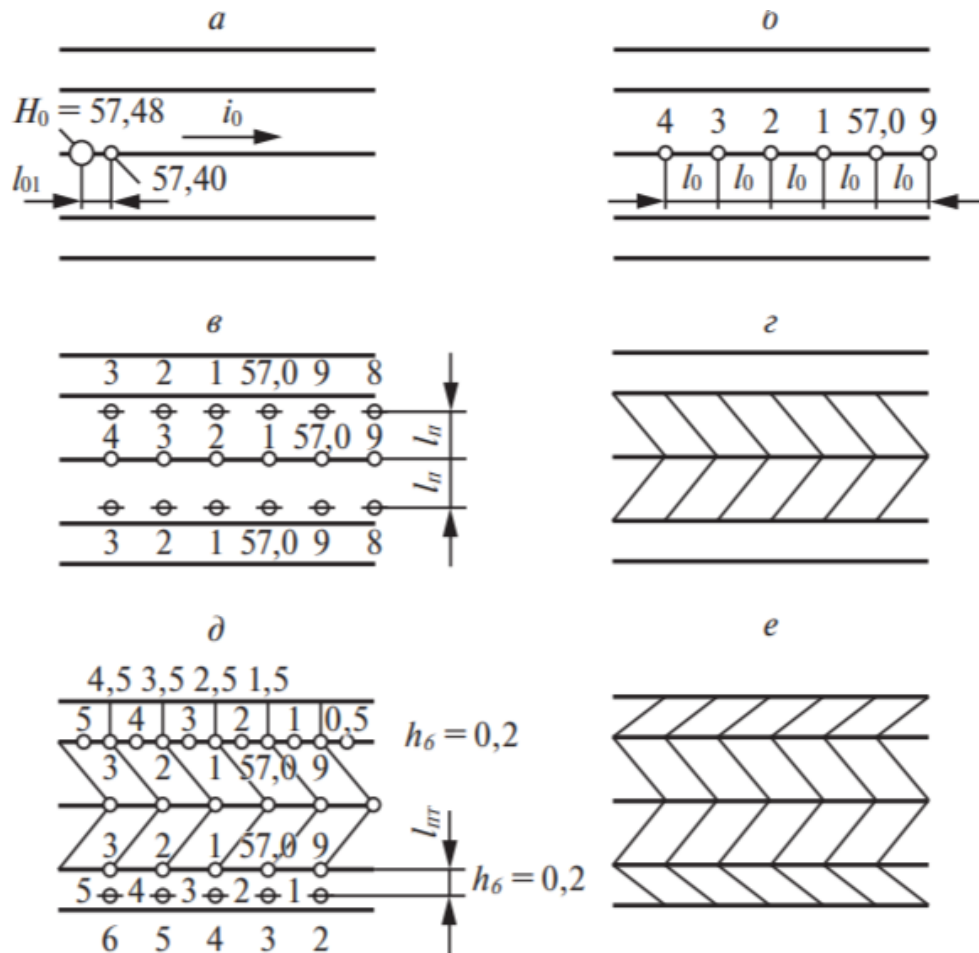


Рис. 6. Последовательность выполнения вертикальной планировки улицы (цифрами показаны отметки горизонталей): а – положение первой горизонтали около опорной точки; б–д – градуирование линий; е – проектное решение

За проектную отметку первой точки принимают точку перелома в продольном профиле. Положение первой от этой точки горизонтали определяют разницей  $\Delta h_{01}$  отметок переломной точки и горизонтали:

$$l_{01} = \frac{\Delta h_{01}}{i_0}, \quad (26)$$

где  $\Delta h_{01}$  – разница отметок переломной точки и первой горизонтали, м;  $i_0$  – продольный уклон в долях единицы.

Все остальные горизонтали, лежащие на ведущей линии, будут удалены друг от друга на расстояние:

$$l_0 = \frac{\Delta h}{i_0}, \quad (27)$$

где  $\Delta h$  – шаг горизонталей, м.

В поперечном направлении отметки точек на проезжей части за счет поперечного уклона будут изменяться. Для того чтобы разница в отметках достигла  $\Delta h_{\text{поп}}$ , нужно от оси улицы удалиться на расстояние:

$$l_{\text{п}} = \frac{\Delta h_{\text{поп}}}{i_{\text{поп}}}, \quad (28)$$

где  $i_{\text{поп}}$  – поперечный уклон в долях единицы.

При постоянном поперечном уклоне скорость изменения отметок в поперечном направлении будет неизменна. Вспомогательная линия, проведенная на расстоянии  $l_{\text{п}}$  параллельно ведущей линии, означает границу изменения отметок на разницу  $\Delta h_{\text{поп}}$ . Все точки, снесенные с ведущей линии на вспомогательную, будут иметь отметку на  $\Delta h_{\text{поп}}$  большую или меньшую. Один скат проезжей части при проектировании вертикальной планировки принимают за плоскость. В пределах этой плоскости через две точки, имеющие одинаковые отметки, проводят горизонталь. Отметка на поверхности бортового камня определяется с учетом отметки горизонтали на проезжей части и высоты бортового камня. Если высота бортового камня кратна сечению горизонталей, проектная горизонталь, расположенная сверху бортового камня совпадет в плане с горизонталью на проезжей части, но будет иметь другую отметку:

$$H_{\text{к}} = H_{\text{г}} + h_{\text{к}}, \quad (29)$$

где  $H_{\text{к}}$  – отметка проектной горизонтали на поверхности бортового камня, м;  $H_{\text{г}}$  – отметка горизонтали на проезжей части улицы, м;  $h_{\text{к}}$  – высота бортового камня, м.

Если высота бортового камня ( $h_{\text{к}}$ ) не кратна шагу горизонталей ( $\Delta h$ ), то положение проектной горизонтали определяют интерполяцией. Если поперечный уклон тротуара отличается от поперечного уклона проезжей части, то определяют новое положение вспомогательной линии. Расстояние ее от границы тротуара равно:

$$l_{\text{пт}} = \frac{\Delta h}{i_{\text{пт}}}, \quad (30)$$

где  $i_{\text{пт}}$  – поперечный уклон тротуара, в долях единицы.

Изложенная последовательность выполнения вертикальной планировки остается неизменной и при большем количестве планировочных элементов улицы.

### **6.3. Выполнение вертикальной планировки улиц с переломами в продольном профиле**

Переломы проектной линии в продольном профиле сопрягают вертикальными кривыми. Их минимальные радиусы назначают исходя из требований к обеспечению необходимой видимости, комфортабельности проезда по дороге, а также с учетом обеспечения зрительной плавности улицы. Минимальные значения радиусов вертикальных кривых представлены в прил. 2.

Вертикальную кривую вписывают по тем же принципам, которые справедливы при проектировании продольного профиля по методу тангенсов. Согласно этому методу сначала градуируют обе ветви перелома, затем в точках, где расположены горизонтали, вводят поправку отметок на вертикальную кривую.

Начало кривой относительно ее вершины находят по формуле:

$$ПК_{НК} = ПК_{БК} - l_k, \quad (31)$$

где  $ПК_{НК}$  – пикетажное положение начала кривой;  $ПК_{БК}$  – пикетажное положение вершины кривой;  $l_k$  – длина кривой (длина от начала либо конца кривой до ее вершины), м;

$$l_k = \frac{R_B \cdot |\Delta i|}{2}, \quad (32)$$

где  $R_B$  – радиус вертикальной кривой, м;  $\Delta i$  – величина изменения продольного уклона, в долях единицы.

Поправки вычисляют от найденного начала кривой по формуле:

$$\Delta H_k = \frac{l^2}{2R_B}, \quad (33)$$

где  $l$  – расстояние от начала кривой до горизонтали, м;

Для вертикальных выпуклых кривых эти поправки вводят со знаком «минус», для вогнутых – со знаком «плюс». После ввода поправок все горизонтали в пределах вертикальной кривой будут иметь дробные отметки. Положение горизонталей, кратных их сечению  $\Delta h$ , определяют интерполяцией.

Общий характерный вид положения проектных горизонталей при вписывании вертикальных кривых показан на рис. 7.

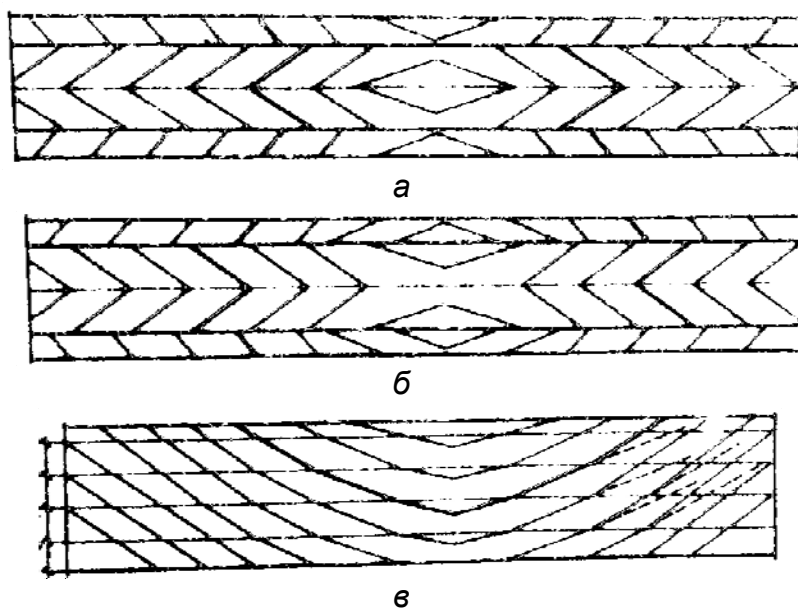


Рис. 7. Характерный вид положения проектных горизонталей при вписывании вертикальных кривых: а – выпуклая кривая; б – вогнутая кривая; в – выпуклая кривая с виражом

#### 6.4. Выполнение вертикальной планировки пересечений городских улиц

Задачей вертикальной планировки пересечений городских улиц является взаимная высотная увязка пересекающихся проезжих частей. Сложностью выполнения такой планировки является сопряжение на небольшой площади нескольких двухскатных поверхностей.

При выполнении вертикальной планировки пересечений сохраняют правило, принятое при организации движения: преимущество, в том числе в удобстве движения, обеспечивается по направлению главной улицы. Вертикальная планировка главной улицы остается на пересечении такой же, как и на перегонах. Всю увязку поверхностей выполняют в пределах второстепенных улиц. В месте сопряжения с главной улицей поперечный профиль второстепенной должен быть односкатным. Переходить к двухскатному поперечному профилю необходимо на длине как можно меньшей, поскольку на этом участке нарушается обычная схема водоотвода, и вода с поверхности улицы сбрасывается только в один лоток. Для второстепенной улицы опорной отметкой, с которой начинают проектировать продольный профиль и вертикальную планировку, является отметка точки пересечения ее оси и кромки проезжей части главной улицы. Переход от двухскатного профиля к односкатному – размостку – выполняют за счет изменения продольного профиля одного из лотков по длине (рис. 8).

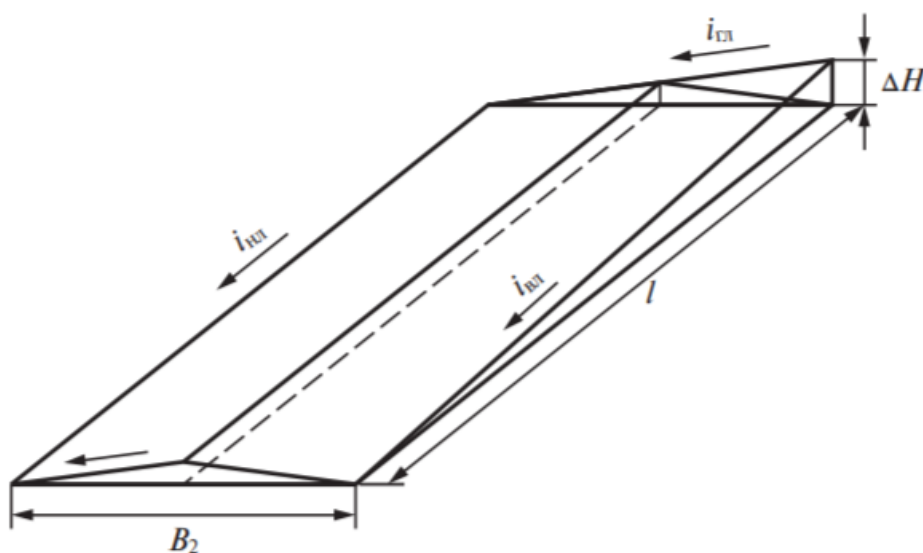


Рис. 8. Схема к определению длины размостки

В конце участка размостки один лоток поднимают над другим на высоту  $\Delta H$ :

$$\Delta H = B_2 i_{\text{гл}}, \quad (34)$$

где  $B_2$  – ширина проезжей части второстепенной улицы, м;  $i_{\text{гл}}$  – продольный уклон главной улицы, в долях единицы.

Тогда длина размотки:

$$l = \frac{\Delta H}{(i_{\text{вл}} - i_{\text{вл}})} = \frac{\Delta H}{\Delta i_{\text{доп}}}, \quad (35)$$

где  $i_{\text{вл}}$  – уклон верхнего лотка, в долях единицы;  $i_{\text{вл}}$  – уклон нижнего лотка, в долях единицы;  $\Delta i_{\text{доп}}$  – дополнительный уклон проезжей части, в долях единицы.

С учетом  $\Delta H = B_2 i_{\text{гл}}$ , длину участка размотки вычисляют по формуле (36):

$$l = \frac{B_2 i_{\text{гл}}}{\Delta i_{\text{доп}}}. \quad (36)$$

Очень малая длина размотки улучшает водоотвод на участке сопряжения, но из-за резкого изменения поверхности улицы ухудшаются условия движения и внешний вид проезжей части. При чрезмерно большой длине размотки ухудшается водоотвод. Оптимальной считается длина размотки, не вызывающая зрительного перелома по верхнему лотку. Это достигается при дополнительном продольном уклоне по лотку  $\Delta i_{\text{доп}}$  до 20‰. С учетом этого предельная длина отмотки равна:

$$l = \frac{B_2 i_{\text{гл}}}{0,02}. \quad (37)$$

Размотку можно выполнить двумя способами: изменением поперечного уклона проезжей части или смещением гребня проезжей части к верхнему лотку (рис. 9).

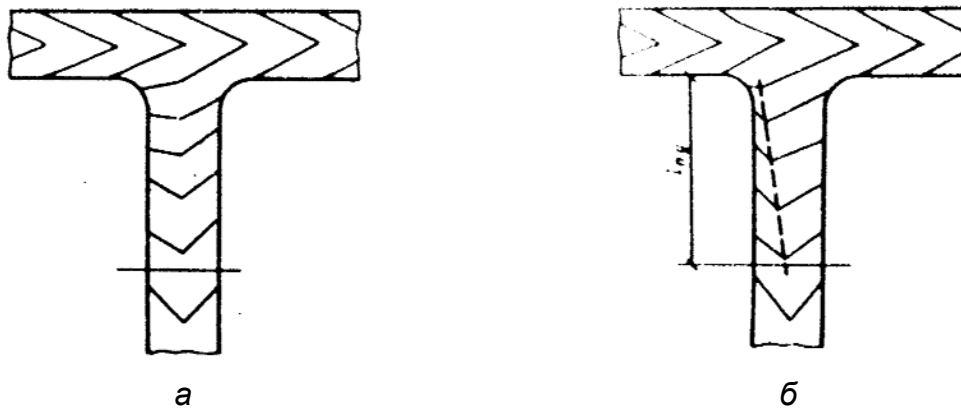


Рис. 9. Принципиальные схемы при выполнении размотки:

а – изменением поперечного уклона;

б – смещением гребня проезжей части к верхнему лотку

С технических позиций оба способа дают одинаковые результаты, но эстетически более совершенную плоскость позволяет получить первый способ.

Примыкание второстепенной улицы к главной можно выполнить двумя способами: без лотка и с лотком вдоль главной улицы (рис. 10).

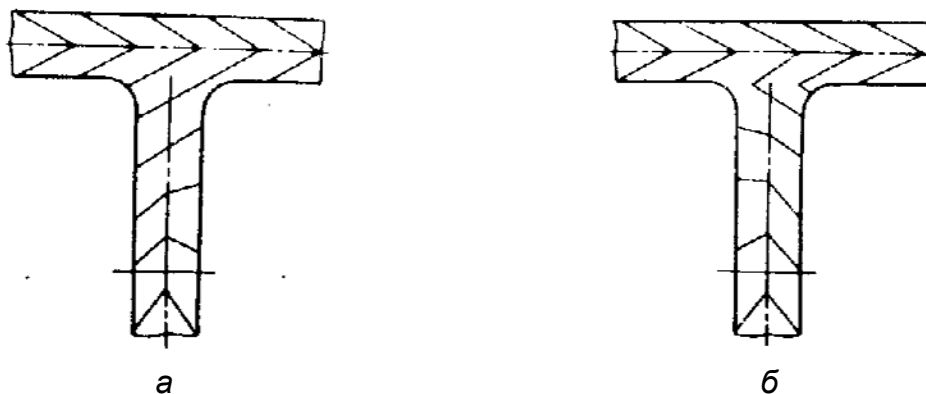


Рис. 10. Схема примыкания второстепенной улицы:  
а – без устройства лотка; б – с лотком вдоль главной улицы

Первый способ применяют на пересечении с уклоном от главной улицы, второй – с уклоном в сторону главной улицы.

Общая последовательность проектирования вертикальной планировки пересечений улиц показана на рис. 11.

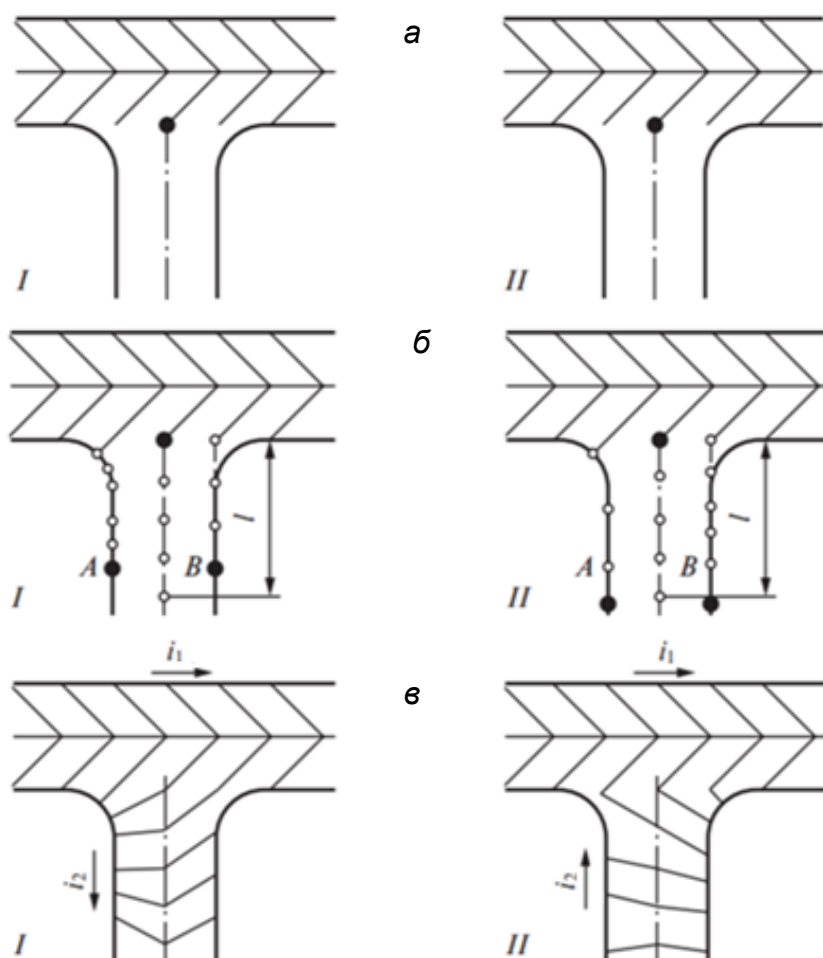


Рис. 11. Последовательность проектирования сопряжения улиц при уклоне по второстепенной улице: I – от главной; II – в сторону главной;  
а – вертикальная планировка главной улицы; б – градуирование линий в пределах размотки; в – проектное решение



Сначала определяют отметку опорной точки на оси второстепенной улицы, используя данные по вертикальному решению главной улицы. Затем рассчитывают длину разности и за ее пределами выполняют вертикальную планировку второстепенной улицы. На правом и левом лотках второстепенной улицы определяют отметки по кромке проезжей части главной улицы. После этого градуируют три линии – левый лоток, ось и правый лоток на второстепенной улице – и проводят проектные горизонталы. Пример решения вертикальной планировки пересечения двух улиц показан на рис. 12.

Вертикальную планировку поверхности тротуаров проектируют после окончания вертикальной планировки проезжих частей. Наиболее сложным участком при этом является закругление тротуара. При скоплении на этом участке горизонталей необходимо проверить получившийся продольный уклон на тротуаре и если он превышает допустимый – уменьшить его за счет изменения высоты борта.

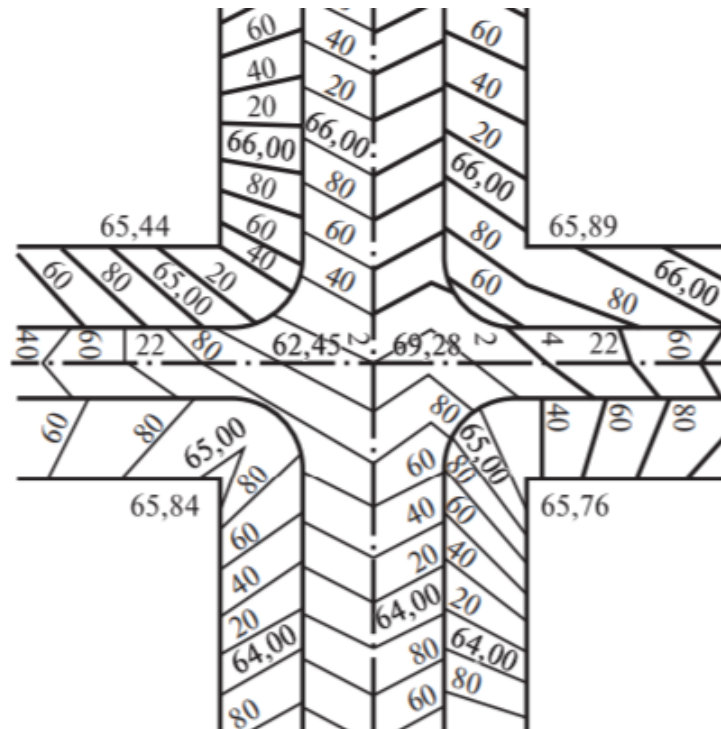


Рис. 12. Пример решения вертикальной планировки пересечения городских улиц

### 6.5. Оформление проекта вертикальной планировки улицы

Проект вертикальной планировки улицы оформляют в соответствии с ГОСТ 21.701-2013. Пример оформления представлен на рис. 13.

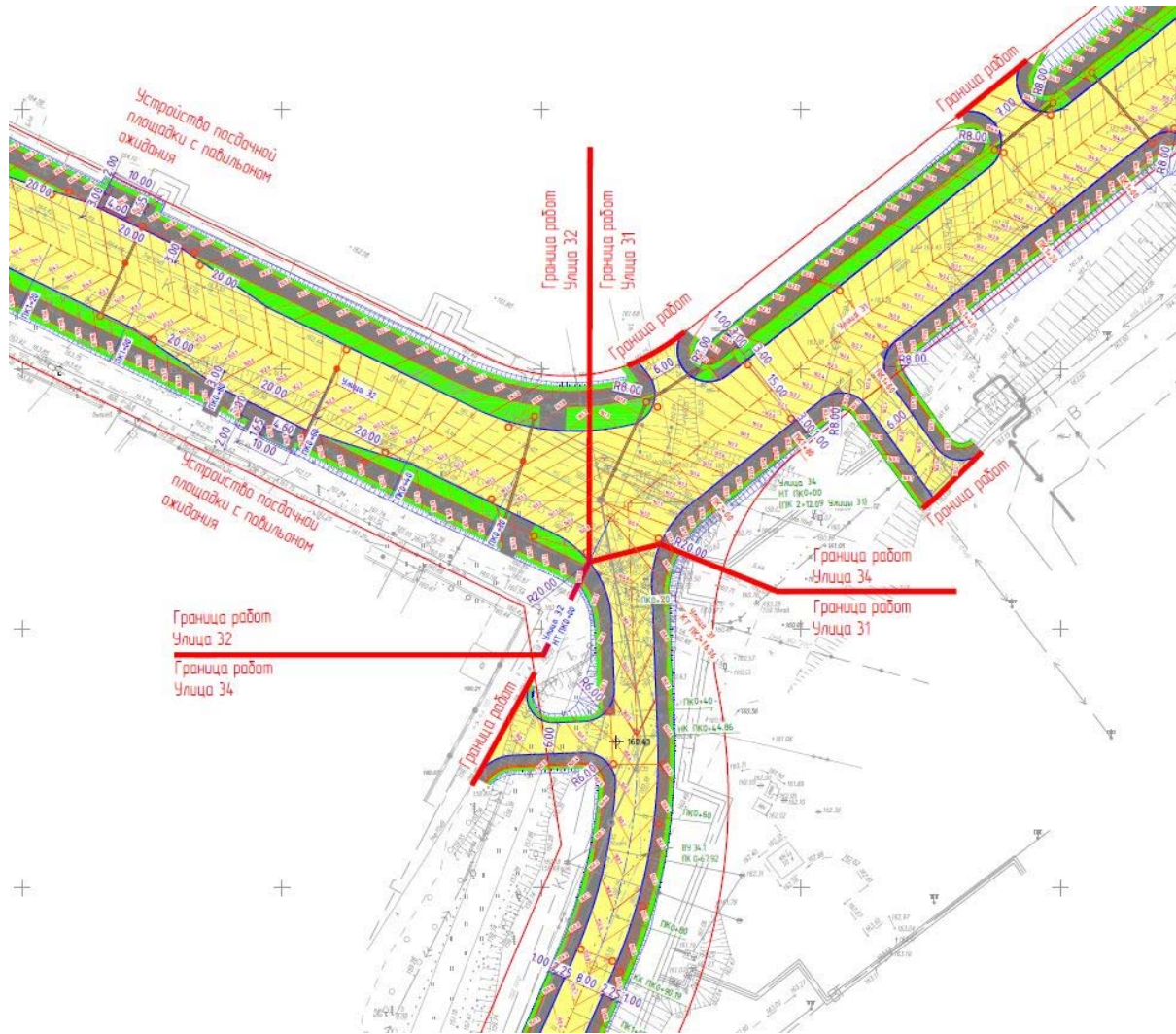


Рис. 13. Пример оформления вертикальной планировки автомобильных дорог, входящих в состав городских улиц

### Пример №4

**Задача.** Запроектировать вертикальную планировку участка проезжей части с переломом в продольном профиле с учетом следующих исходных данных:

- продольный уклон проезжей части улицы до точки перелома  $i_{пр1} = +0,04$ ;
- продольный уклон проезжей части улицы после точки перелома  $i_{пр2} = -0,02$ ;
- радиус вертикальной кривой –  $R_v = 300$  м;
- высотное положение точки перелома в продольном профиле  $h_1 = 52,15$  м;
- поперечный профиль симметричен, поперечный уклон проезжей части  $i_{поп} = 0,02$ .

**Решение.**

1. Установим положение проектных горизонталей на ведущей (осевой) линии проектируемой улицы.

За проектную отметку первой точки ( $h_0$ ) принимаем точку перелома в продольном профиле:

$$h_0 = 52,15 \text{ м.}$$

Сечение горизонталей принимаем равным  $\Delta h = 0,1$  м, тогда расстояние ( $l_{01}$ ) до первой от этой точки горизонтали определяем разницей  $\Delta h_{01}$  отметок переломной точки ( $h_0 = 52,15$  м) и горизонтали ( $h_1 = 52,10$  м):

– для продольного уклона  $i_{\text{пр}1} = 0,04$ ,

$$l_{01} = \frac{\Delta h_{01}}{i_{\text{пр}1}} = \frac{52,15 - 52,10}{0,04} = \frac{0,05}{0,04} = 1,25 \text{ м;}$$

– для продольного уклона  $i_{\text{пр}1} = 0,02$ ,

$$l_{02} = \frac{\Delta h_{01}}{i_{\text{пр}1}} = \frac{52,15 - 52,10}{0,02} = \frac{0,05}{0,02} = 2,5 \text{ м.}$$

Все остальные горизонталы, лежащие на ведущей линии, будут удалены друг от друга на расстояние:

$$l_{\text{пр}} = \frac{\Delta h}{i_{\text{пр}}};$$

– для продольного уклона  $i_{\text{пр}1} = 0,04$ ,

$$l_{\text{пр}1} = \frac{\Delta h}{i_{\text{пр}1}} = \frac{0,1}{0,04} = 2,5 \text{ м;}$$

– для продольного уклона  $i_{\text{пр}1} = 0,02$ ,

$$l_{\text{пр}2} = \frac{\Delta h}{i_{\text{пр}2}} = \frac{0,1}{0,02} = 5,0 \text{ м.}$$

Положение горизонталей на осевой линии проезжей части улицы показано на рис. 14.

2. Вписываем вертикальную кривую. Найдем тангенс вертикальной кривой по формуле (32):

$$l_{\text{к}1} = (R_{\text{в}} \cdot \Delta i) / 2 = (300 \cdot 0,06) / 2 = 9,0 \text{ м.}$$

Находим поправки к высотным отметкам положения горизонталей. Такие поправки вычисляем от начала (конца) вертикальной кривой по формуле (33):

$$\Delta H_{\text{к}} = \frac{l^2}{2R_{\text{в}}};$$

– для горизонтали на отметке 51,8 м, отстоящей от начала кривой на 0,25 м:

$$\Delta H_{\text{к}1} = \frac{0,25^2}{2 \cdot 300} = \frac{0,0625}{600} = 0,00001 \text{ м;}$$

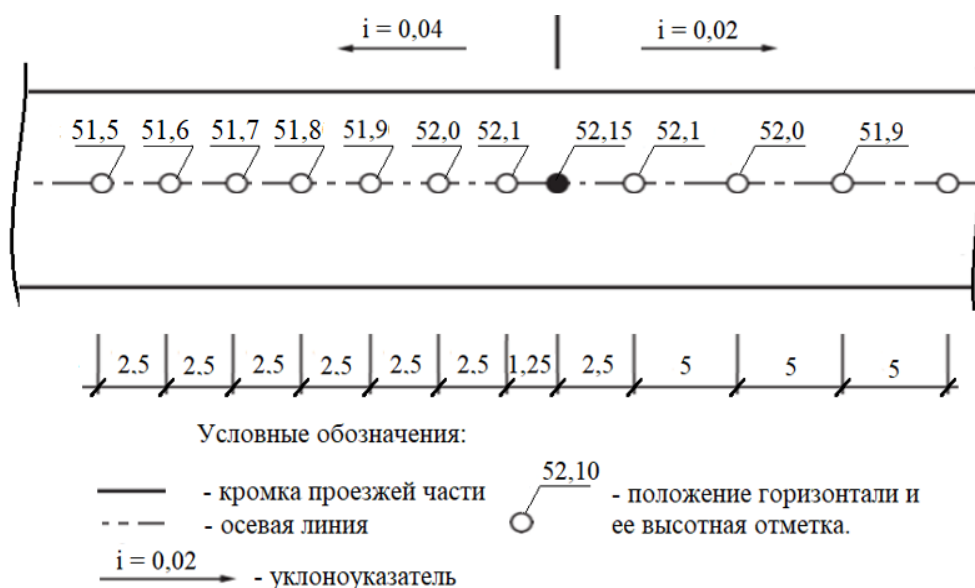


Рис. 14. Градуирование ведущей (осевой) линии проезжей части городской улицы

— для горизонтали на отметке 51,9 м, отстоящей от начала кривой на 2,75 м:

$$\Delta H_{k2} = \frac{2,75^2}{2 \cdot 300} = \frac{7,56}{600} = 0,01 \text{ м};$$

— для горизонтали на отметке 52,0 м, отстоящей от начала кривой на 5,25 м:

$$\Delta H_{k2} = \frac{5,25^2}{2 \cdot 300} = \frac{27,56}{600} = 0,05 \text{ м};$$

— для горизонтали на отметке 52,1 м, отстоящей от начала кривой на 7,75 м:

$$\Delta H_{k2} = \frac{7,75^2}{2 \cdot 300} = \frac{60,06}{600} = 0,10 \text{ м};$$

— для горизонтали на отметке 52,15 м, отстоящей от начала кривой на 9,0 м:

$$\Delta H_{k2} = \frac{9,0^2}{2 \cdot 300} = \frac{81}{600} = 0,13 \text{ м};$$

— для горизонтали на отметке 52,1 м, отстоящей от конца кривой на 6,5 м:

$$\Delta H_{k2} = \frac{6,5^2}{2 \cdot 300} = \frac{42,25}{600} = 0,07 \text{ м};$$

— для горизонтали на отметке 52,0 м, отстоящей от конца кривой на 1,5 м:

$$\Delta H_{k2} = \frac{1,5^2}{2 \cdot 300} = \frac{2,25}{600} = 0,004 \text{ м}.$$

Найденные поправки выносятся на план трассы, как показано на рис. 15.



Рис. 15. Поправки к высотным отметкам на ведущей (осевой) линии улицы

Высотные отметки ведущей линии с учетом найденных поправок показаны на рис. 16.



Рис. 16. Высотные отметки ведущей (осевой) линии с учетом поправок

3. Найдем положение проектных горизонталей. Для этого необходимо найти положение горизонталей в поперечном направлении. Отметки точек на проезжей части изменяются за счет поперечного уклона. Для того чтобы разница в отметках достигла  $\Delta h$ , нужно от оси улицы удалиться на расстояние:

$$l_n = \frac{\Delta h}{i_{\text{поп}}};$$

$$i_{\text{поп}} = 0,02;$$

$$l_n = \frac{0,1}{0,02} = 5 \text{ м.}$$

Для нахождения положения горизонталей, вводим и градуируем дополнительную базисную линию на расстоянии  $l_n = 5$  м от ведущей (осевой) линии проезжей части как показано на рис. 17.

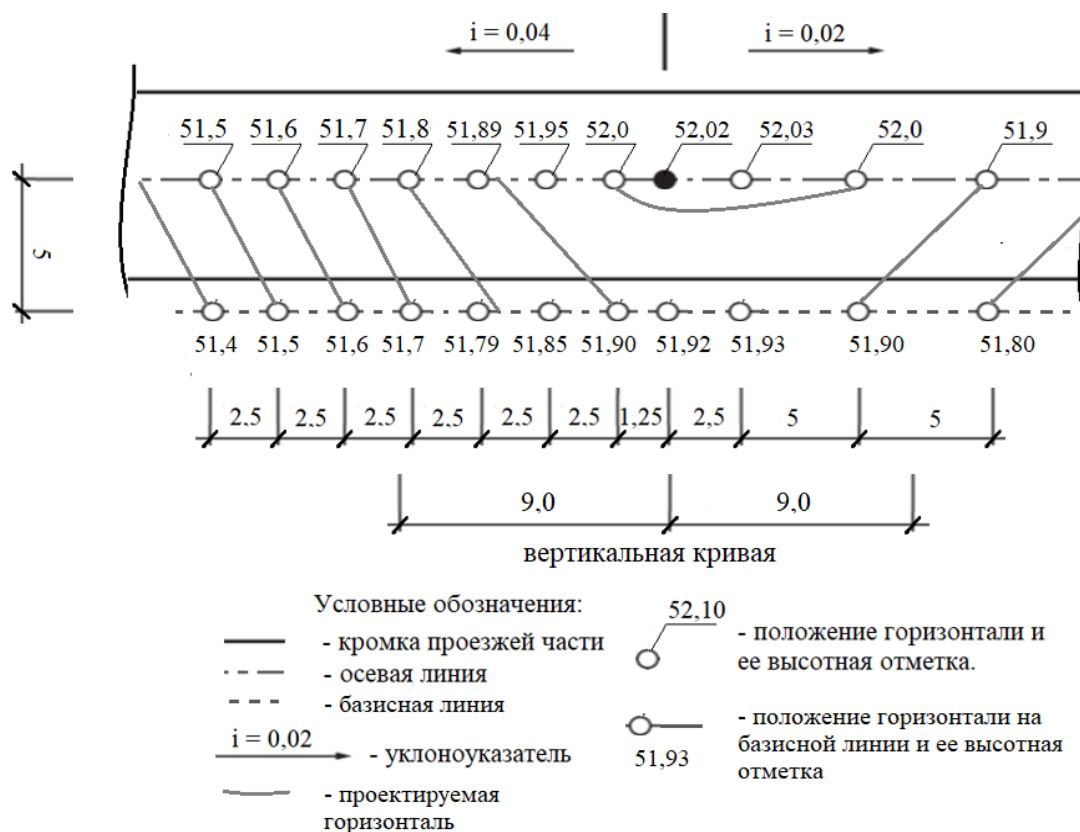


Рис. 17. Градуирование дополнительной базисной линии проезжей части улицы

Построение проектной поверхности (горизонталей) производим соединяя точки, обозначающие положение горизонталей на ведущей (осевой) и вспомогательной базисной линии, имеющие одинаковую высотную отметку. Положение проектных горизонталей показано на рис. 18.

Учитывая осевую симметрию в поперечном профиле, окончательно проектная поверхность примет вид, показанный на рис. 19.





*Рис. 18. Положение проектных горизонталей с учетом перелома в продольном профиле*

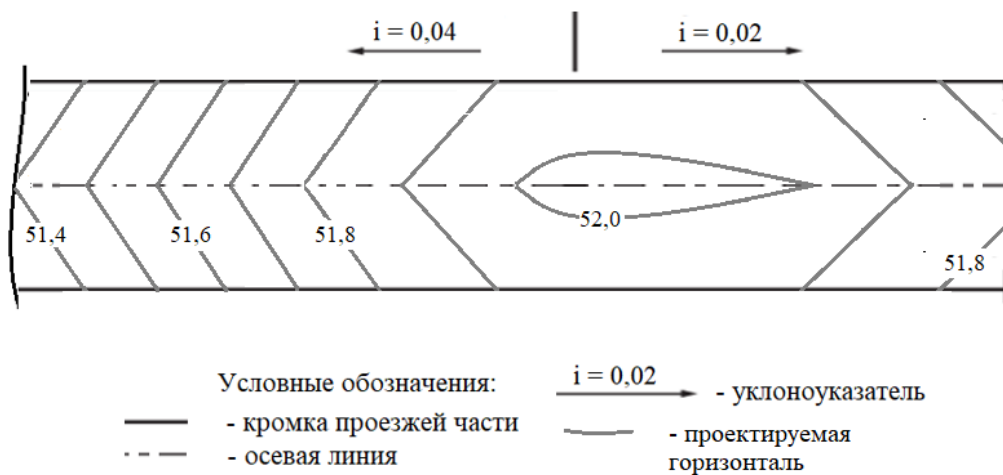


Рис. 19. Проектная поверхность (в горизонталях) проезжей части городской улицы

## 7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

## 7.1. Общие сведения

**Дорожная одежда** – многослойная конструкция, состоящая из слоев покрытия и слоев основания, воспринимающая многократно повторяющиеся (циклические) воздействия транспортных средств и по-

годно-климатических факторов и обеспечивающая передачу транспортной нагрузки на рабочий слой земляного полотна.

**Покрытие** – верхняя часть дорожной одежды, состоящая из нескольких слоев, непосредственно воспринимающая усилия от колес транспортных средств и подвергающаяся прямому воздействию атмосферных факторов.

**Верхний слой покрытия** – слой, обеспечивающий транспортно-эксплуатационные характеристики проезжей части, подвергающийся непосредственному воздействию нагрузки от транспортных средств и погодно-климатических факторов.

**Нижний слой покрытия** – слой, подвергающийся воздействию транспортной нагрузки и перераспределяющий ее на нижележащие слои.

**Основание** – часть конструкции дорожной одежды, расположенная под покрытием и обеспечивающая совместно с покрытием перераспределение напряжений в конструкции и снижение их величины в грунте рабочего слоя земляного полотна (подстилающем грунте), а также морозоустойчивость и осушение конструкции. Включает несущее основание и его дополнительные слои.

**Дополнительные слои основания** – слои между основанием и подстилающим грунтом, предусматриваемые для обеспечения требуемой морозоустойчивости и дренирования конструкции.

**Морозозащитный слой** – дополнительный слой основания дорожной одежды из непучинистых материалов, обеспечивающий совместно с другими слоями основания и покрытия защиту конструкции от недопустимых деформаций морозного пучения.

**Рабочий слой земляного полотна** (подстилающий грунт) – верхняя часть полотна в пределах от низа дорожной одежды до  $2/3$  глубины промерзания, но не менее 1,5 м от поверхности покрытия.

**Уровень надежности** – вероятность безотказной работы конструкции в течение всего периода между капитальными ремонтами.

## 7.2. Толщины конструктивных слоев дорожной одежды и применяемые материалы

Минимально допустимые толщины конструктивных слоев дорожных одежд следует принимать в соответствие с размером наиболее крупной фракции минерального материала в их составе, но не менее чем:

- для верхних слоев покрытий – 2,5 раза;
- для иных слоев – 2 раза, в соответствии с п. 8.33 СП 34.13330.

Для устройства верхнего слоя покрытия на магистральных улицах общегородского значения и районного значения рекомендуется применять щебнемастичный асфальтобетон (ЩМА) по ГОСТ 31015 а также асфальтобетон плотный из горячей мелкозернистой щебеночной смеси, типа А по ГОСТ 9128.



На улицах местного значения рекомендуется в качестве верхнего слоя покрытия применять асфальтобетон плотный из горячей мелкозернистой щебеночной смеси, типа Б по ГОСТ 9128.

В нижнем слое покрытий рекомендуется использовать асфальтобетон плотный из горячей крупнозернистой щебеночной смеси типа Б по ГОСТ 9128.

Для устройства слоев оснований следует применять:

- щебеночно-песчаные смеси по ГОСТ 25607;
- щебень фракции 40/70(80) мм устроенный по способу заклинки щебнем фракцией 10–20 мм (5–10 мм);
- жесткий укатываемый бетон (класс бетона на сжатие В7,5).

Для устройства дополнительных слоев оснований рекомендуется применять пески по ГОСТ 8736 с коэффициентом фильтрации не менее 2 м/сут. Кроме этого, могут быть применены щебеночно-песчаные (гравийно-песчаные, щебеночно-гравийно-песчаные) смеси С3–С6, С9–С11 по ГОСТ 25607. Коэффициент фильтрации смесей должен быть также не менее 2 м/сут. Щебень, содержащийся в смесях дополнительных слоев оснований должен иметь марку по прочности не ниже 200.

Между дополнительными слоями оснований из щебеночных, гравийно-песчаных или щебеночно-песчаных смесей и грунтом земляного полотна или песчаным подстилающим слоем, выполняющим дренирующую функцию, и грунтом земляного полотна с целью исключения взаимопроникновения материалов рекомендуется применять разделяющие прослойки из нетканых геотекстилей или геосинтетических сеток.

Конструкция дорожной одежды на магистральных улицах общегородского значения, районного значения, а также в местах остановок общественного транспорта, на регулируемых пересечениях и в других местах изменения скорости или движения на пониженных скоростях должна обеспечить повышенную сдвигоустойчивость при высоких летних температурах. Для обеспечения этого требования в покрытии предусматривают применение асфальтобетонных смесей типа А, ЩМА, высокоплотных смесей, в том числе на полимер-битумном вяжущем (ПБВ), а в основании – крупнозернистых асфальтобетонных смесей либо каменных материалов, укрепленных цементом.

### **7.3. Исходные данные для расчета конструкции дорожной одежды**

Интенсивность движения, следует привести к расчетному грузовому автомобилю с нагрузкой на ось 115 кН.

Требуемые минимальные коэффициенты прочности при заданных уровнях надежности для расчета дорожных одежд по различным критериям прочности следует принять в зависимости от категории улиц по табл. 7.

Таблица 7

Тип дорожной одежды		Капитальный					
Категория улиц		Магистральные городские дороги		Магистральные улицы общего городского значения		Магистральные улицы районного значения	Местная сеть улиц
		1 класса	2 класса	1 класса	2, 3 классов		
Заданная надежность		0,98	0,95	0,98	0,95	0,95	0,90
Требуемый коэффициент прочности по критерию:	упругого прогиба	1,50	1,30	1,38	1,20	1,17	1,10
	сдвига и растяжения при изгибе	1,10	1,00	1,10	1,00	1,00	0,94

Расчет конструкции дорожной одежды следует выполнять согласно инструкции по проектированию нежестких дорожных одежд ОДН 218.046.

Целью расчета является определение толщины слоев дорожной одежды в вариантах, намеченных при конструировании, или выбор материалов с соответствующими деформационными и прочностными характеристиками при заданных толщинах слоев.

Расчет конструкции необходимо выполнить по допустимому упругому прогибу (или требуемому общему модулю упругости) на основе зависимости требуемого общего модуля упругости конструкции от суммарного числа приложений нагрузки.

В результате этого расчета назначаются толщины конструктивных слоев и их модули упругости таким образом, чтобы общий модуль упругости дорожной одежды был не менее требуемого с учетом соответствующего коэффициента прочности (табл. 7).

Далее выполняется расчет конструкции дорожной одежды по следующим критериям:

- сдвигоустойчивости подстилающего грунта;
- сдвигоустойчивости песчаного слоя;
- сопротивлению монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе;
- обеспечение морозоустойчивости конструкции.

При недостаточной величине коэффициента прочности по любому критерию – конструкцию следует уточнить, а расчеты повторить.

Конструкцию дорожной одежды улицы оформляют в соответствии с ГОСТ 21.701-2013. Пример оформления представлен в прил. 6.

### Пример №5

Пример расчета конструкции дорожной одежды нежесткого типа

#### 1. Определение общего (расчетного) модуля упругости дорожной одежды

а) определяем величину приведенной к расчетному автомобилю интенсивность движения:

Заданная интенсивность движения в первый год службы дорожной одежды, а также коэффициенты приведения представлены в таблице ниже:

Тип автомобиля	Грузоподъемность, т	Интенсивность, ед./сут	$S_{m \text{ сум}}$
Легковые	–	5625	0
Грузовые	< 2	1125	0,005
	2,0–6,0	225	0,2
	6,0–8,0	150	0,7
	Свыше 8,0	225	1,25
Автобусы	–	75	0,7
Автопоезда	20,0–30,0	75	1,5

Показатель ежегодного роста интенсивности движения  $q = 1,04$  (4%). По табл. 3.2 [6] для двухполосных дорог  $f_{\text{пол}} = 0,55$

$$N_p = f_{\text{пол}} \cdot \sum_{m=1}^n N_m \cdot S_{m \text{ сум}} = f_{\text{пол}} \cdot N_{\text{пр.общ.}},$$

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;  $N_m$  – число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств  $m$ -й марки;  $S_{m \text{ сум}}$  – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства  $m$ -й марки к расчетной нагрузке  $Q_{\text{расч.}}$ .

$S_{m \text{ сум}}$  принят по данным таблицы П.1.3 [6].

$$N_{\text{пр.общ.}} = \sum N_m \cdot S_{m \text{ сум}}, \text{ авт./сут.};$$

$$N_{\text{пр.общ.}} = 1125 \cdot 0,005 + 225 \cdot 0,2 + 150 \cdot 0,7 + 225 \cdot 1,25 +$$

$$+ 75 \cdot 0,7 + 75 \cdot 1,5 = 602 \text{ авт./сут.}$$

$$N_p = 0,55 \cdot 602 = 332 \text{ авт./сут.};$$

б) вычисляем суммарное расчетное количество приложений расчетной нагрузки за срок службы дорожной одежды:

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

где  $N_p$  – приведенная интенсивность на последний год службы дорожной одежды ( $N_p = 332$  авт./сут.);  $T_{рдг}$  – расчетное число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости конструкции ( $T_{рдг} = 135$  дней, табл. П.6.1 [6]);  $K_n$  – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого ( $K_n = 1,49$ , табл. 3.3 [6]);  $T_{сл}$  – расчетный срок службы ( $T_{сл} = 20$  лет, табл. П.6.2 [6]);  $K_c$  – коэффициент суммирования ( $K_c = 29,8$ , табл. П.6.3 [6]);  $q$  – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобилей по годам ( $q = 1,04$ ).

$$\Sigma N_p = 0,7 \cdot 332 \cdot \frac{29,8}{1,04^{20-1}} \cdot 135 \cdot 1,49 = 661209,34 \approx 661210;$$

в) вычисляем величину минимального требуемого общего модуля упругости конструкции по эмпирической формуле:

$$E_{\min} = 98,65 \cdot [\lg(\Sigma N_p) - c], \text{ МПа},$$

где  $\Sigma N_p$  – суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды;  $c$  – эмпирический параметр, принимаемый равным для расчетной нагрузки на ось (115 кН;  $c = 3,2$ ).

$$E_{\min} = 98,65 \cdot [\lg(661210) - 3,2] = 259 \text{ МПа};$$

$$E_{\text{общ}} = E_{\min} \cdot K_{\text{трпр}}, \text{ МПа},$$

$K_{\text{трпр}}$  – требуемый коэффициент прочности принимается в зависимости от уровня надежности.

$$E_{\text{общ}} = 259 \cdot 1,17 = 303 \text{ МПа}.$$

## 2. Определение расчетных характеристик грунта

1) дорожно-климатическая зона – II<sub>2</sub>;

2) тип местности по увлажнению: 1 – атмосферные осадки;

3) грунт – супесь лёгкая;

4) среднее многолетнее значение относительной (в долях от границы текучести) влажности грунта, наблюдавшееся в наиболее неблагоприятный (весенний) период года в рабочем слое земляного полотна:

$$W_{\text{таб}} = 0,57 \text{ (по табл. п.2.1 [6])};$$

5) расчетная влажность грунта (в долях от влажности на границе текучести):

$$W_p = (W_{\text{таб}} + \Delta_1 \cdot W - \Delta_2 \cdot W) \cdot (1 + 0,1 \cdot t) - \Delta_3,$$

где  $\Delta_1 \cdot W$  – поправка на особенности рельефа территории: для равнинной местности  $\Delta_1 \cdot W = 0,00$  (табл. П.2.2 [6]);  $\Delta_2 \cdot W$  – поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин:  $\Delta_2 \cdot W = 0,00$ ;  $\Delta_3$  – поправка на влияние суммарной толщины стабильных слоев дорожной одежды, устанавливаемая по графику рис. П.2.1 [6]:  $\Delta_3 = 0,00$ ;  $t$  – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надежности примем  $t = 1,71$  (табл. П.4.2 [6]).

$$W_p = (0,57 + 0,00 - 0,00) \cdot (1 + 0,1 \cdot 1,71) - 0,00 = 0,67.$$

По расчетной влажности принимаются расчетные характеристики грунта:

- 6) модуль упругости:  $E_{гр} = 52$  МПа;
- 7) сцепление:  $C_{гр} = 0,0046$  МПа;
- 8) угол внутреннего трения:  $\varphi_{гр} = 12^\circ$ .

### **3. Назначение материалов дорожной одежды и их расчетные характеристики**

- 1) щебеночно-мастичный асфальтобетон на ПБВ 60:
  - по упругому прогибу модуль упругости  $E_{щма} = 4500$  МПа;
  - по сопротивлению сдвигу модуль упругости  $E_{щма} = 2600$  МПа;
  - по сопротивлению растяжению при изгибе модуль упругости  $E_{щма} = 5300$  МПа (табл. П.3.1 [6]);
- 2) плотный асфальтобетон тип Б марки I, горячий на битуме марки БНД 60/90:
  - по упругому прогибу модуль упругости  $E_{а/б} = 3200$  МПа (табл. П.3.2 [6]);
  - по сопротивлению сдвигу модуль упругости  $E_{а/б} = 1800$  МПа (табл. П.3.2 [6]);
  - по сопротивлению растяжению при изгибе модуль упругости  $E_{а/б} = 4500$  МПа (табл. П.3.1 [6]);
- 3) пористый крупнозернистый асфальтобетон марки II, горячий на битуме марки БНД 60/90:
  - по упругому прогибу модуль упругости  $E_{а/б} = 2000$  МПа (табл. П.3.2 [6]);
  - по сопротивлению сдвигу модуль упругости  $E_{а/б} = 1200$  МПа (табл. П.3.2 [6]);
  - по сопротивлению растяжению при изгибе модуль упругости  $E_{а/б} = 2800$  МПа (табл. П.3.1 [6]);
- 4) щебеночная песчаная смесь с непрерывной гранулометрией С4 (максимальный размер зерен 80 мм):
  - модуль упругости:  $E_{щпс} = 260$  МПа (табл. П.3.9 [6]);
- 5) песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%:
  - модуль упругости:  $E_n = 120$  МПа (табл. П.2.5 [6]);
  - $\varphi_N = 28^\circ$  (табл. П.2.6 [6]);
  - $\varphi_{ст} = 33^\circ$  (табл. П.2.6 [6]);
  - $C_N = 0,003$  МПа (табл. П.2.6 [6]);
- 6) грунт супесь легкая  $W_o = 0,67WT$ :
  - модуль упругости:  $E_{гр} = 52$  МПа (табл. П.2.5 [6]);
  - $\varphi_{гр} = 14^\circ$  (табл. П.2.4 [6]);
  - $\varphi_{ст} = 36^\circ$  (табл. П.2.4 [6]).

#### 4. Расчет необходимой толщины дренирующего слоя

Толщина дополнительного слоя основания из песка определяется с учетом объема воды, поступающей в основание дорожной одежды в расчетный период, фильтрационной способности материала дренирующего слоя и конструкции земляного полотна.

Расчет допускается выполнять по одному из следующих способов:

4.1. Определение полной толщины дренирующего слоя, работающего по принципу поглощения:

Полная толщина дренирующего слоя, работающего по принципу поглощения, определяется по формуле:

$$h_{\text{п}} = (Q/(1000n) + 0,3h_{\text{зап}}) : (1 - \varphi_{\text{зим}}),$$

где  $Q$  – расчетное количество воды в л/м<sup>2</sup>, накапливающейся в дренирующем слое за весь расчетный период (табл. 5.3 [6]);  $\varphi_{\text{зим}}$  – коэффициент заполнения пор влагой в материале дренирующего слоя к началу оттаивания (табл. 5.6 [6]);  $n$  – пористость материала, в долях единицы.

$$h_{\text{п}} = (60/(1000 \cdot 0,36) + 0,3 \cdot 0,15) : (1 - 0,4) = 0,36 \text{ м.}$$

Толщина дополнительного слоя основания из песка, работающего по методу поглощения составляет 36 см.

4.2. Определение полной толщины дренирующего слоя, работающего по принципу осушения.

В этом случае необходимо запроектировать дренаж мелкого заложения.

Дренирующий слой в этом случае рассчитывается с помощью номограммы [6], предварительно выполнив следующие расчеты:

$$h_{\text{п}} = h_{\text{нас}} + h_{\text{зап}},$$

где  $h_{\text{нас}}$  – толщина слоя, полностью насыщенного водой, м;  $h_{\text{зап}}$  – дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала и равная для песков средней крупности 0,14–0,15 м. В обоих случаях полную толщину дренирующего слоя следует принимать не менее 0,20 м.

Для дренирующего слоя, работающего по принципу осушения величину  $h_{\text{нас}}$  устанавливают с помощью номограммы рис. 5.1 [6] в зависимости от длины пути фильтрации  $L$  и расчетной величины притока воды в дренирующий слой на 1 м<sup>2</sup>  $q_{\text{р}}$ , определяемой по формуле:

$$1. \quad q_{\text{р}} = qK_{\text{п}}K_{\text{г}}K_{\text{вог}}K_{\text{р}} : 1000, \text{ м}^3/\text{м}^2,$$

где  $q$  – осредненное (табличное) значение притока воды в дренирующий слой при традиционной конструкции дорожной одежды, отнесенное к 1 м<sup>2</sup> проезжей части, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> (табл. 5.3 [6]);  $K_{\text{п}}$  – коэффициент «пик», учитывающий неустановившийся режим поступления воды из-за неравномерного оттаивания и выпадения атмосферных осадков (табл. 5.4 [6]);  $K_{\text{г}}$  – коэффициент гидрологического запаса, учитывающий снижение фильтрационной способности дренирующего слоя в процессе эксплуатации дороги (табл. 5.4 [6]);  $K_{\text{вог}}$  – коэффициент, учи-

тывающий накопление воды в местах изменения продольного уклона, определяемый при одинаковом направлении участков профиля у перелома по номограмме рис. 5.3 [6];  $K_p$  – коэффициент, учитывающий снижение притока воды при принятии специальных мер по регулированию водно-теплого режима (табл. 5.5 [6]).

$$q_p = 3,5 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,45 / 1000 = 0,0023 \text{ м}^3/\text{м}^2.$$

2. Вычисляем отношение

$$q'/K_\phi,$$

где  $q'$  – приток воды на 1 м дороги,  $\text{м}^3/\text{сут.}$ ;  $K_\phi = 2 \text{ м/сут.}$  – коэффициент фильтрации дренирующего материала.

При двускатном поперечном профиле проезжей части

$$q' = 0,5 \cdot q_p \cdot B, \text{ м}^3/\text{сут.},$$

где  $B$  – ширина земляного полотна.

$$q' = 0,5 \cdot 0,0024 \cdot 7,5 = 0,009 \text{ м}^3/\text{сут.};$$

$$q'/K_\phi = 0,009/2 = 0,0045.$$

По номограмме (рис. 5.1 [6]) для расчета толщины  $h_{\text{нас}}$  дренирующего слоя из средних песков при известных значениях  $q'/K_\phi$  и поперечного уклона грунтового основания находим отношение  $h_{\text{нас}}/L = 0,04$ .

3. Определяем величину  $h_{\text{нас}}$  из отношения:

$$h_{\text{нас}}/L = 0,04,$$

где  $L$  – длина пути фильтрации, равный  $0,5 \cdot B$  при двускатном профиле.

$$L = 0,5 \cdot B = 0,5 \cdot 7,5 = 3,75 \text{ м};$$

$$h_{\text{нас}} = 0,04 \cdot 3,75 = 0,15 \text{ м}.$$

4. Вычисляем полную толщину дренирующего слоя:

$$h_{\text{п}} = h_{\text{нас}} + h_{\text{зап}},$$

где  $h_{\text{нас}}$  – толщина слоя песка, полностью насыщенного свободной водой, м;  $h_{\text{зап}}$  – дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала и равная для песков средних 0,14–0,15 м.

$$h_{\text{п}} = h_{\text{нас}} + h_{\text{зап}} = 0,15 + 0,15 = 0,3 \text{ м}.$$

Принимаем толщину дренирующего слоя, работающего по методу осушения – 30 см.

## 5. Назначение конструкции дорожной одежды

Покрытие:

1-й слой. Щебеночно-мастичный асфальтобетон на ПБВ 60:  $E_{\text{щма}} = 4500 \text{ МПа}$ ,  $h_{\text{щма}} = 5 \text{ см}$ .

2-й слой. Плотный асфальтобетон тип Б марки I, горячий на битуме марки БНД 60/90:  $E_a/б1 = 3200 \text{ МПа}$ ,  $h_a/б1 = 7 \text{ см}$ .

3-й слой. Пористый крупнозернистый асфальтобетон марки II, горячий на битуме марки БНД 60/90:  $E_a/б2 = 2000 \text{ МПа}$ ,  $h_a/б2 = 9 \text{ см}$ .

Основание – щебеночная смесь с непрерывной гранулометрией  $C_4$  (максимальный размер зерен 80 мм):  $E_{\text{щ}} = 260 \text{ МПа}$ .

Дренирующий слой – песок средний с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%:  $E_n = 120$  МПа,  $h_n = 30$  см.

### 6. Расчет дорожной одежды нежесткого типа

Расчет дорожной одежды по допустимому упругому прогибу:

1-й слой. Щебеночно-мастичный асфальтобетон,  $h = 5$  см.

2-й слой. Плотный асфальтобетон тип Б марки I,  $h = 7$  см.

3-й слой. Пористый крупнозернистый асфальтобетон марки II,  $h = 9$  см.

4-й слой. Щебеночная смесь с непрерывной гранулометрией С<sub>4</sub> (максимальный размер зерен 80 мм) Толщина слоя подлежит расчёту.

5-й слой. Песок средней крупности,  $h = 30$  см.

Грунт земляного полотна – суглинок легкий.

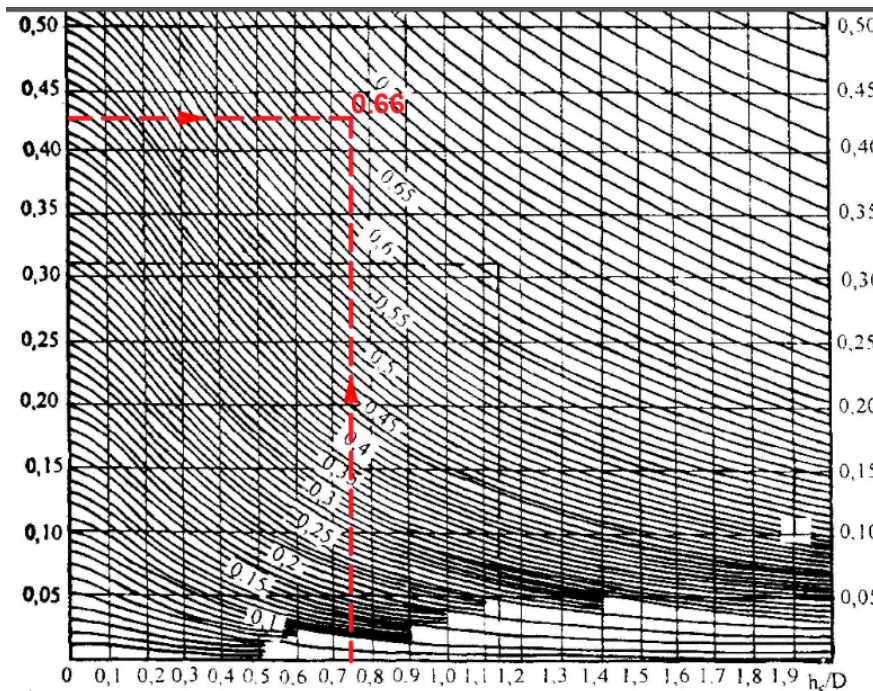
Выполним расчёт дорожной одежды согласно ОДН 218.046-01. В назначенной дорожной одежде известна толщина всех конструктивных слоев, за исключением щебеночного основания. Расчёт заключается в определении такой толщины этого слоя, которой будет соответствовать общий модуль упругости дорожной одежды, равный:  $E_{\text{общ}} = 303$  МПа.

Значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл. П.3.2 [6] при расчётной температуре +10°C.

1. Расчет общего модуля упругости для песчаного слоя:

$$\frac{h_4}{D} = \frac{30}{40} = 0,75; \quad \frac{E_n}{E_{\text{сп}}} = \frac{E_{\text{гр}}}{E_n} = \frac{52}{120} = 0,43.$$

По номограмме (рис. 3.1 [6]) находим:



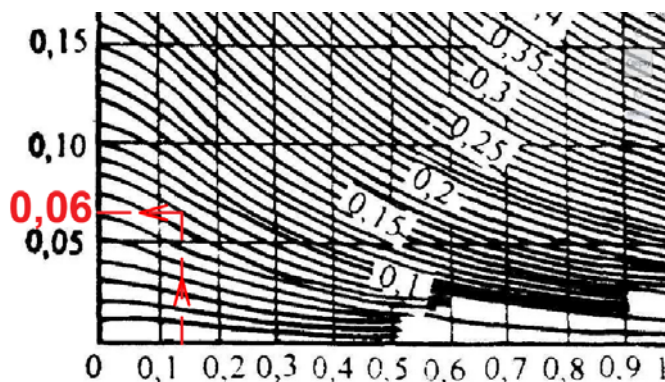


$$\frac{E_v}{E_{\text{сл}}} = \frac{E_{\text{общ}}^{\text{п}}}{E_{\text{п}}} = 0,66; E_{\text{общ}}^{\text{п}} = 0,66 \cdot 120 = 79 \text{ МПа.}$$

2. Расчет модуля упругости для слоя щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА):

$$\frac{h_1}{D} = \frac{5}{40} = 0,13; \frac{E_v}{E_{\text{сл}}} = \frac{E_{\text{тр}}}{E_{\text{щма}}} = \frac{303}{4500} = 0,07.$$

По номограмме (рис. 3.1 [6]) находим:

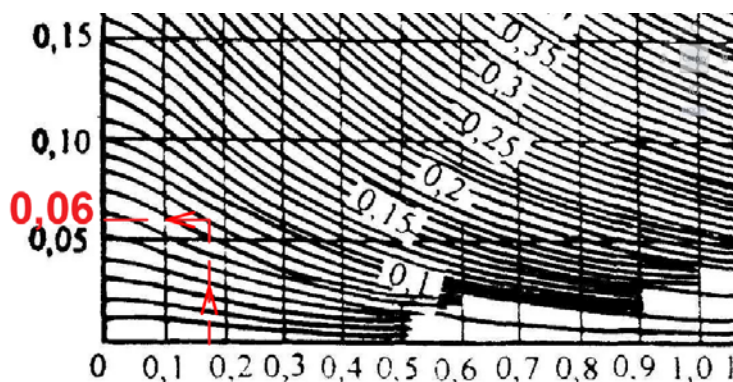


$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{сл}}} = \frac{E_{\text{общ}}^{\text{а/б}}}{E_{\text{щма}}} = 0,06; E_{\text{общ}}^{\text{а/б}} = 0,06 \cdot 4500 = 270 \text{ МПа.}$$

3. Расчет модуля упругости для слоя крупнозернистого плотного асфальтобетона типа Б марки I:

$$\frac{h_2}{D} = \frac{7}{40} = 0,18; \frac{E_v}{E_{\text{сл}}} = \frac{E_{\text{общ}}^{\text{а/б}}}{E_{\text{а/б}}^1} = \frac{270}{3200} = 0,08.$$

По номограмме (рис. 3.1 [6]) находим:

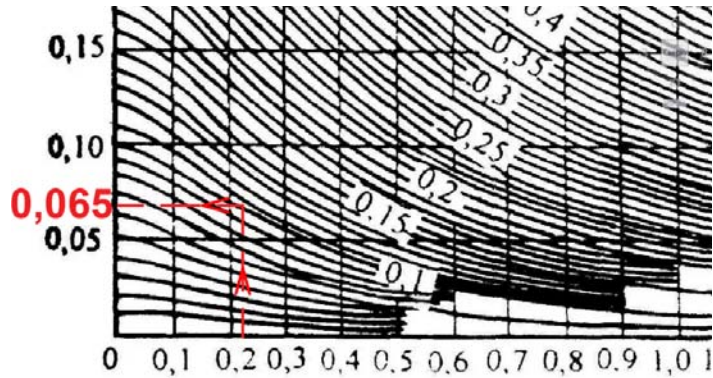


$$\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{сл}}} = \frac{E_{\text{общ}}^{\text{а/б}}}{E_{\text{а/б}}^1} = 0,06; E_{\text{общ}}^{\text{а/б}} = 0,06 \cdot 3200 = 192 \text{ МПа.}$$

4. Расчет модуля упругости для слоя крупнозернистого пористого асфальтобетона марки II:

$$\frac{h_2}{D} = \frac{9}{40} = 0,23; \quad \frac{E_v}{E_{сл}} = \frac{E_{общ}^2}{E_{a/б}^2} = \frac{192}{2000} = 0,1.$$

По номограмме (рис. 3.1 [6]) находим:

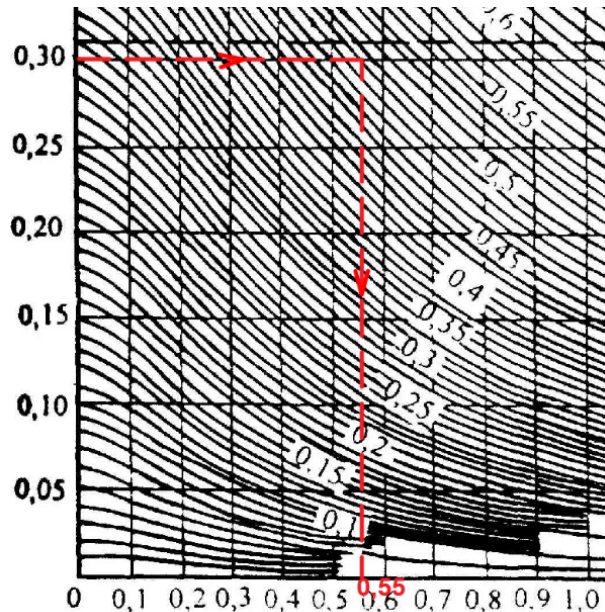


$$\frac{E_n}{E_{сл}} = \frac{E_{общ}^{щ}}{E_{a/б}^2} = 0,065; \quad E_{общ}^{щгпс} = 0,065 \cdot 2000 = 130 \text{ МПа.}$$

5. Расчет толщины слоя щебня:

$$\frac{E_n}{E_{сл}} = \frac{E_{общ}^{п}}{E_{щ}} = \frac{79}{260} = 0,3; \quad \frac{E_v}{E_{сл}} = \frac{E_{общ}^{щ}}{E_{щ}} = \frac{130}{260} = 0,5.$$

По номограмме (рис. 3.1 [6]) находим:



$$\frac{h_3}{D} = 0,55; \quad h_3 = 0,55 \cdot D = 0,55 \cdot 40 = 22 \text{ см.}$$

Принимаем толщину щебня равную 22 см.

Описание запроектированной конструкции дорожной одежды.  
Характеристики материалов слоев

Материал слоя	$h_{\text{сл}},$ см	Расчет по допус- тимому упругому прогибу $E, \text{МПа}$	Расчет по условию сдвига- устойчи- вости $E, \text{МПа}$	Расчет на растяжение при изгибе			
				$E, \text{МПа}$	$R_o,$ $\text{МПа}$	$\alpha$	$m$
Щебеночно-мастичный асфальтобетон на ПБВ 60	5	4500	2600	5300	9,8	5,2	5,5
Асфальтобетон плотный тип Б, на вязком битуме 60/90	7	3200	1800	4500	9,8	5,2	5,5
Пористый крупнозер- нистый асфальтобетон марки II, горячий, на битуме БНД-60/90	9	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
Щебеночная смесь с непрерывной гранулометрией С <sub>4</sub> (максимальный размер зерен 80 мм)	22	260	260	260	—	—	—
Геосинтетический материал ( $P_p \geq 20 \text{ кН/м}$ , $E_{ps} \leq 20\%$ )	—	—	—	—	—	—	—
Песок средней крупности	30	120	120	120	—	—	—
Супесь легкая $W_p = 0,74 W_T$	—	52	52	52	—	—	—

**Проверка №1. Расчет конструкции по условию сдвига-  
устойчивости в грунте**

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

В качестве нижнего слоя модели принимаем грунт (супесь легкая) со следующими характеристиками: (при  $W_p = 0,67 W_T$  и  $\Sigma N_p = 658\,795$  авт.);  $E_n = 52 \text{ МПа}$ ,  $\varphi_{гр} = 12^\circ$  и  $C_{гр} = 0,0046 \text{ МПа}$  (п. 6.4 [6]).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле, где значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл. П.3.2 [6] при расчетной температуре  $+20^\circ\text{C}$  (табл. 3.5 [6]).

$$E_B = \frac{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2 + E_3 \cdot h_3 + E_4 \cdot h_4 + E_5 \cdot h_5}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5};$$

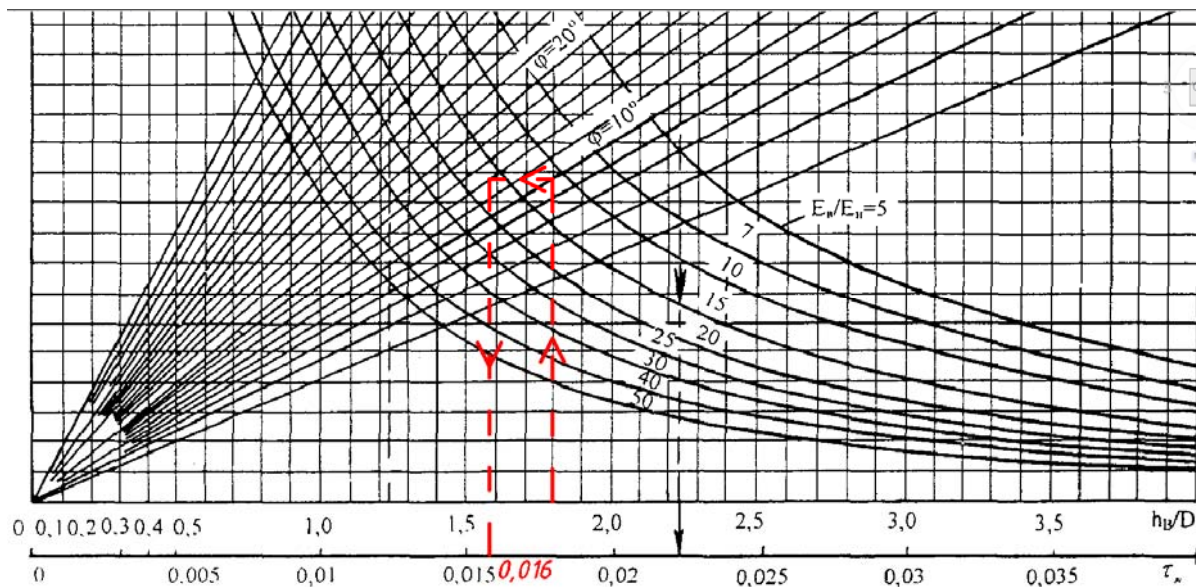
$$E_B = \frac{2600 \cdot 5 + 1800 \cdot 7 + 1200 \cdot 9 + 260 \cdot 22 + 120 \cdot 30}{5 + 7 + 9 + 22 + 30} = 626 \text{ МПа};$$

$$\frac{E_B}{E_H} = \frac{626}{52} = 12;$$

$$\frac{\Sigma h_{д.о}}{D} = \frac{73}{40} = 1,8;$$

$$\varphi_{гр} = 12^\circ.$$

По номограмме (рис. 3.2 [6]) находим:  $\tau_H = 0,016$ .



Определяем действующие в грунте активные напряжения сдвига по формуле:  $T = \tau_H \cdot p = 0,016 \cdot 0,6 = 0,01$  МПа.

Определяем предельное активное напряжение сдвига  $T_{пр}$  в грунте рабочего слоя по формуле:

$$T_{пр} = K_d \cdot (C_{гр} + 0,1 \cdot \gamma_{ср} \cdot z \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ст}), \text{ МПа,}$$

где  $K_d = 1,0$ ; коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с верхним слоем несущего основания;  $C_{гр} = 0,0046$  МПа – сцепление грунта земляного полотна;  $0,1$  – коэффициент для перевода в МПа;  $\gamma_{ср}$  – средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев расположенных выше проверяемого слоя, ( $\gamma_{ср} = 0,002$  кг/см<sup>3</sup>);  $z = 76$  см – глубина расположения поверхности слоя от верха конструкции;  $\varphi_{ст} = 36^\circ$  – угол внутреннего трения.

$$T_{пр} = 1,0 \cdot (0,0046 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 73 \cdot \operatorname{tg} 36^\circ) = 0,015 \text{ МПа.}$$

Определяем коэффициент прочности:

$$K_{пр} = \frac{T_{пр}}{T} > 1,0;$$

$$K_{пр} = \frac{T_{пр}}{T} = \frac{0,015}{0,01} = 1,5 > 1,0 \Rightarrow \text{условие выполнено.}$$

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в грунте.



### Проверка №2. Расчет конструкции на сопротивление сдвигу в песчаном слое основания

Приводим конструкцию к двухслойной модели, где нижний слой модели – часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев и щебня, т.е. дренирующий слой (песок средний) и грунт рабочего слоя.

Модуль упругости нижнего слоя  $E_n = E_{\text{общ}}^n = 79$  МПа. Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле, где значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл. п. 3.2 при расчетной температуре  $+20^\circ\text{C}$  (табл. 3.5 [6]).

$$E_b = \frac{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2 + E_3 \cdot h_3 + E_4 \cdot h_4}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4};$$

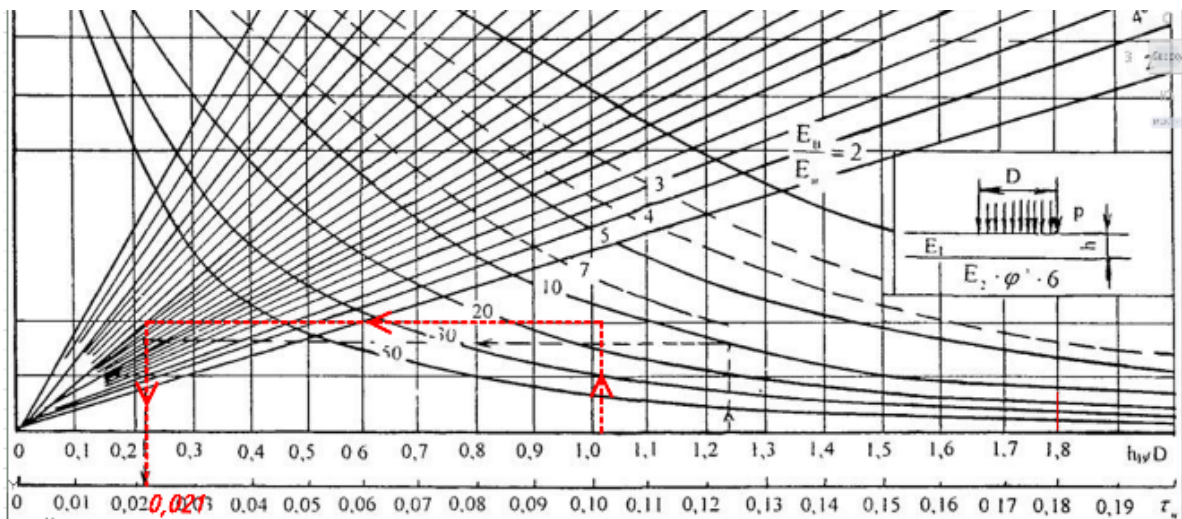
$$E_b = \frac{2600 \cdot 5 + 1800 \cdot 7 + 1200 \cdot 9 + 260 \cdot 22}{5 + 7 + 9 + 22} = 979 \text{ МПа};$$

$$\frac{E_b}{E_n} = \frac{979}{79} = 12,4;$$

$$\frac{\sum h_{\text{д.о}}}{D} = \frac{43}{40} = 1,075;$$

$$\varphi_N = 27^\circ.$$

По номограмме (рис. 3.2 [6]) находим:  $\tau_n = 0,021$ .



Определяем действующие активные напряжения сдвига по формуле:  $T = \tau_n \cdot p = 0,019 \cdot 0,6 = 0,011$  МПа.

Определяем предельное активное напряжение сдвига  $T_{\text{пр}}$  в песчаном слое по формуле:

$$T_{\text{пр}} = K_d \cdot (C_N + 0,1 \cdot \gamma_{\text{ср}} \cdot z \cdot \text{tg}(\varphi_{\text{ст}})), \text{ МПа},$$

где  $K_d = 4,0$ ; коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с верхним слоем несущего основа-

ния;  $C_N = 0,002$  МПа – сцепление грунта дренирующего слоя; 0,1 – коэффициент для перевода в МПа;  $\gamma_{cp}$  – средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев расположенных выше проверяемого слоя, ( $\gamma_{cp} = 0,0019$  кг/см<sup>3</sup>);  $z = 43$  см – глубина расположения поверхности слоя от верха конструкции;  $\varphi_{ст} = 33^\circ$  – угол внутреннего трения.

$$T_{пр} = 4,0 \cdot (0,002 + 0,1 \cdot 0,0019 \cdot 43 \cdot \operatorname{tg} 33^\circ) = 0,028 \text{ МПа.}$$

Определяем коэффициент прочности:

$$K_{пр} = \frac{T_{пр}}{T} > 1,0;$$

$$K_{пр} = \frac{T_{пр}}{T} = \frac{0,028}{0,011} = 2,55 > 1,0 \Rightarrow \text{условие выполнено.}$$

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в песчаном слое основания.

### **Проверка №3. Расчет конструкции на сопротивления монолитных слоёв усталостному разрушению от растяжения при изгибе**

Приводим конструкцию к двухслойной модели, где нижний слой модели – часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, т.е. щебень, дренирующий слой (песок средний) и грунт рабочего слоя. Модуль упругости нижнего слоя  $E_n = E_{общ}^{ш} = 130$  МПа.

К верхнему слою относят все асфальтобетонные слои.

Модуль упругости верхнего слоя ( $h_b = 21$  см) устанавливаем по формуле:

$$E_b = \frac{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2 + E_3 \cdot h_3}{h_1 + h_2 + h_3};$$

$$E_b = \frac{4500 \cdot 5 + 3200 \cdot 7 + 2000 \cdot 9}{5 + 7 + 9} = 2995 \text{ МПа;}$$

$$\frac{E_b}{E_n} = \frac{2995}{130} = 23;$$

$$\frac{\sum h_{д.о}}{D} = \frac{21}{40} = 0,53.$$

По номограмме (рис. 3.4 [6]) находим:  $\bar{\sigma}_r = 1,5$ .

Определяем расчетное растягивающее напряжение по формуле:

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \cdot p \cdot k_b, \text{ МПа,}$$

где  $\bar{\sigma}_r$  – растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчетных диаметрах площадки, передающей нагрузку;  $k_b$  – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном;  $p$  – расчетное давление ( $p = 0,6$  МПа).

$$\sigma_r = 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 0,77 \text{ МПа.}$$

Определяем предельное растягивающее напряжение по формуле:

$$R_N = R_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot (1 - V_R \cdot t), \text{ МПа,}$$

где  $R_0 = 9,8 \text{ МПа}$  – нормативное значение предельного сопротивления растяжению при изгибе при расчетной низкой весенней температуре для нижнего слоя конструкции (табл. П.3.1 [6]);  $V_R = 0,1$  – коэффициент вариации прочности на растяжение (табл. П.4.1);  $t = 1,71$  – коэффициент нормативного отклонения (табл. П.4.2 [6]);  $K_2 = 1,0$  – коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодноклиматических факторов (табл. 3.6 [6]);  $K_1$  – коэффициент, отражающий влияние на прочность усталостных процессов, вычисляют по выражению:

$$K_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}},$$

где  $\sum N_p$  – расчетное суммарное число приложений расчетной нагрузки за срок службы монолитного покрытия;  $m$  – показатель степени, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя ( $m = 5,5$ , табл. П.3.1 [6]);  $\alpha$  – 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 ( $\alpha = 5,2$  табл. П.3.1 [6]).

$$K_1 = \frac{5,2}{\sqrt[5,5]{661210}} = 0,46;$$

$$R_N = 9,8 \cdot 0,46 \cdot 1,0 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,71) = 3,74 \text{ МПа;}$$

$$\frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{3,74}{0,77} = 4,86 > K_{тр} = 1,0 \Rightarrow \text{условие выполнено.}$$

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет всем критериям прочности.

#### **Проверка №4. Расчет конструкции на морозоустойчивость**

Определяем глубину промерзания дорожной конструкции  $Z_{пр}$  для условий Липецкой области:

$$Z_{пр} = Z_{пр(ср)} \cdot 1,38, \text{ м,}$$

где  $Z_{пр(ср)}$  – средняя глубина промерзания для данного района, устанавливаемая при помощи карт изолиний (рис. 4.4 [6]).

$$Z_{пр} = 1,7 \cdot 1,38 = 2,35 \text{ м.}$$

Определяем величину пучения для данной конструкции:

$$I_{пуч} = I_{пуч(ср)} \cdot K_{угв} \cdot K_{пл} \cdot K_{гр} \cdot K_{нагр} \cdot K_{вл}, \text{ см,}$$

где  $I_{\text{пуч(ср)}} = 5,0$  см – величина морозного пучения при осредненных условиях, определяемая по рис. 4.3 [6] в зависимости от толщины дорожной одежды (включая дополнительные слои основания), группы грунта по степени пучинистости (табл. 4.1 [6]) и глубины промерзания ( $Z_{\text{пр}}$ );  $K_{\text{угв}} = 0,43$  – коэффициент, учитывающий влияние расчетной глубины залегания уровня грунтовых вод;  $K_{\text{пл}} = 1,0$  – коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя (табл. 4.4 [6]);  $K_{\text{гр}} = 1,3$  – коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки (табл. 4.5 [6]);  $K_{\text{нагр}} = 0,85$  – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое и зависящий от глубины промерзания (рис. 4.2 [6]);  $K_{\text{вл}} = 1,01$  – коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта (табл. 4.6 [6]).

$$I_{\text{пуч}} = 5,0 \cdot 0,43 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 0,85 \cdot 1,01 = 2,4 \text{ см.}$$

Так как срок службы составляет более 10 лет, то морозное пучение не должно превышать 80% от требуемой величины ( $I_{\text{доп}} = 5$  см):  $5 \cdot 0,8 = 4$  см.

$I_{\text{пуч}} < I_{\text{пуч,доп.}}$ ;  $2,4 \text{ см} < 4 \text{ см} \Rightarrow$  проверка на морозоустойчивость выполнена.

**Заключение:** поскольку все проверки успешно выполнены, принимаем и вычерчиваем рассчитанную конструкцию дорожной одежды.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

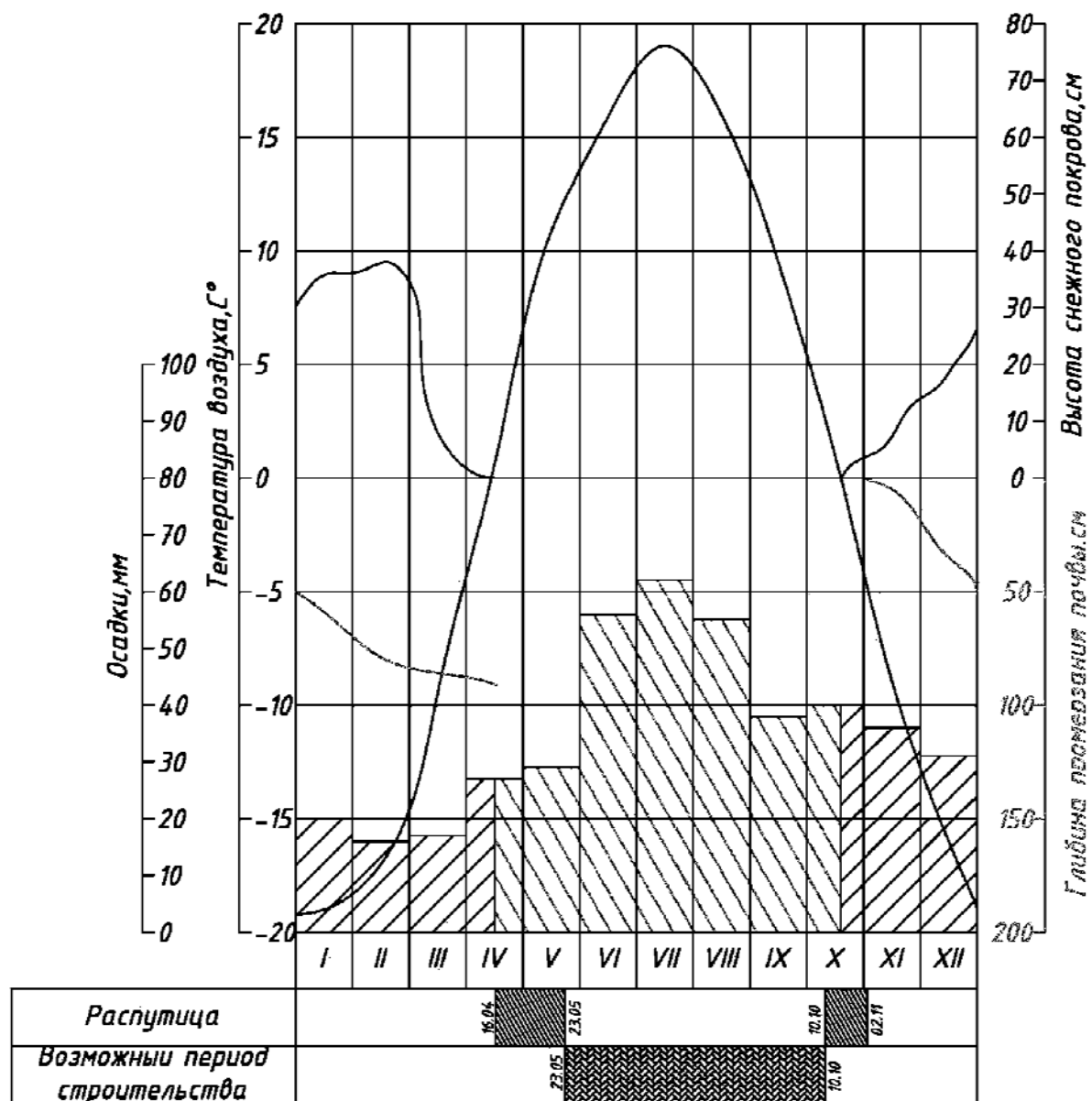


Рис. П1.1. Пример оформления дорожно-климатического графика

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П2.1

Категория дорог и улиц	Основное назначение дорог и улиц
Магистральные городские дороги: 1-го класса – скоростного движения	Скоростная транспортная связь между удаленными промышленными и жилыми районами в крупнейших и крупных городах; выходы на внешние автомобильные дороги, к аэропортам, крупным зонам массового отдыха и поселениям в системе расселения. Движение непрерывное. Доступ транспортных средств через развязки в разных уровнях. Пропуск всех видов транспорта. Пересечение с дорогами и улицами всех категорий – в разных уровнях. Пешеходные переходы устраиваются вне проезжей части
2-го класса – регулируемого движения	Транспортная связь между районами города, выходы на внешние автомобильные дороги. Проходят вне жилой застройки. Движение регулируемое. Доступ транспортных средств через пересечения и примыкания не чаще, чем через 300–400 м. Пропуск всех видов транспорта. Пересечение с дорогами и улицами всех категорий – в одном или разных уровнях. Пешеходные переходы устраиваются вне проезжей части и в уровне проезжей части
Магистральные улицы общегородского значения: 1-го класса – непрерывного движения	Транспортная связь между жилыми, промышленными районами и общественными центрами в крупнейших, крупных и больших городах, а также с другими магистральными улицами, городскими и внешними автомобильными дорогами. Обеспечивают безостановочное непрерывное движение по основному направлению. Основные транспортные коммуникации, обеспечивающие скоростные связи в пределах урбанизированных городских территорий. Обеспечивают выход на автомобильные дороги. Обслуживание прилегающей застройки осуществляется с боковых или местных проездов. Пропуск всех видов транспорта. Пешеходные переходы устраиваются вне проезжей части
2-го класса – регулируемого движения	Транспортная связь между жилыми, промышленными районами и центром города, центрами планировочных районов; выходы на внешние автомобильные дороги. Транспортно-планировочные оси города, основные элементы функционально-планировочной структуры города, поселения. Движение регулируемое. Пропуск всех видов транспорта. Для движения наземного общественного транспорта устраивается выделенная полоса при соответствующем обосновании. Пересечение с дорогами и улицами других категорий – в одном или разных уровнях. Пешеходные переходы устраиваются вне проезжей части и в уровне проезжей части со светофорным регулированием

Продолжение табл. П2.1

Категория дорог и улиц	Основное назначение дорог и улиц
3-го класса – регулируемого движения	Связывают районы города, городского округа между собой. Движение регулируемое и саморегулируемое. Пропуск всех видов транспорта. Для движения наземного общественного транспорта устраивается выделенная полоса при соответствующем обосновании. Пешеходные переходы устраиваются в уровне проезжей части и вне проезжей части
Магистральные улицы районного значения	Транспортная и пешеходная связи в пределах жилых районов, выходы на другие магистральные улицы. Обеспечивают выход на улицы и дороги межрайонного и общегородского значения. Движение регулируемое и саморегулируемое. Пропуск всех видов транспорта. Пересечение с дорогами и улицами в одном уровне. Пешеходные переходы устраиваются вне проезжей части и в уровне проезжей части
Улицы и дороги местного значения: – улицы в зонах жилой застройки	Транспортные и пешеходные связи на территории жилых районов (микрорайонов), выходы на магистральные улицы районного значения, улицы и дороги регулируемого движения. Обеспечивают непосредственный доступ к зданиям и земельным участкам
– улицы в общественно-деловых и торговых зонах	Транспортные и пешеходные связи внутри зон и районов для обеспечения доступа к торговым, офисным и административным зданиям, объектам сервисного обслуживания населения, образовательным организациям и др. Пешеходные переходы устраиваются в уровне проезжей части
– улицы и дороги в производственных зонах	Транспортные и пешеходные связи внутри промышленных, коммунально-складских зон и районов, обеспечение доступа к зданиям и земельным участкам этих зон. Пешеходные переходы устраиваются в уровне проезжей части

Таблица П2.2

Категория дорог и улиц	Расчетная скорость движения, км/ч	Ширина полосы движения, м	Число полос движения (сум- марно в двух направлениях)	Наименьший радиус кривых в плане с вира- жом/без виража, м	Наиболь- ший про- дольный уклон, ‰	Наименьший радиус верти- кальной выпук- лой кривой, м	Наименьший радиус верти- кальной вогну- той кривой, м	Наименьшая ширина пеше- ходной части тротуара, м
Магистральные улицы и дороги								
Магистральные городские дороги:								
1-го класса	130	3,50–3,75	4–10	1200/1900	40	21500	2600	–
	110			760/1100	45	12500	1900	
	90			430/580	55	6700	1300	
2-го класса	90	3,50–3,75	4–8	430/580	55	5700	1300	–
	80	3,25–3,75		310/420	60	3900	1000	
	70			230/310	65	2600	800	
Магистральные улицы общегородского значения:								
1-го класса	90	3,50–3,75	4–10	430/580	55	5700	1300	4,5
	80	3,25–3,75		310/420	60	3900	1000	
	70			230/310	65	2600	800	
2-го класса	80	3,25–3,75	4–10	310/420	60	3900	1000	3,0
	70			230/310	65	2600	800	
	60			170/220	70	1700	600	
3-го класса	70	3,25–3,75	4–6	230/310	65	2600	800	3,0
	60			170/220	70	1700	600	
	50			110/140	70	1000	400	
Магистраль- ные улицы районного значения	70	3,25–3,75	2–4	230/310	60	2600	800	2,25
	60			170/220	70	1700	600	
	50			110/140	70	1000	400	
Улицы и дороги местного значения:								
– улицы в зо- нах жилой за- стройки	50	3,0–3,5	2–4	110/140	80	1000	400	2,0
	40			70/80	80	600	250	
	30			40/40	80	600	200	
– улицы в об- щественно- деловых и тор- говых зонах	50	3,0–3,5	2–4	110/140	80	1000	400	2,0
	40			70/80	80	600	250	
	30			40/40	80	600	200	
– улицы и до- роги в произ- водственных зонах	50	3,5	2–4	110/140	60	1000	400	2,0

# ПРИЛОЖЕНИЕ 3

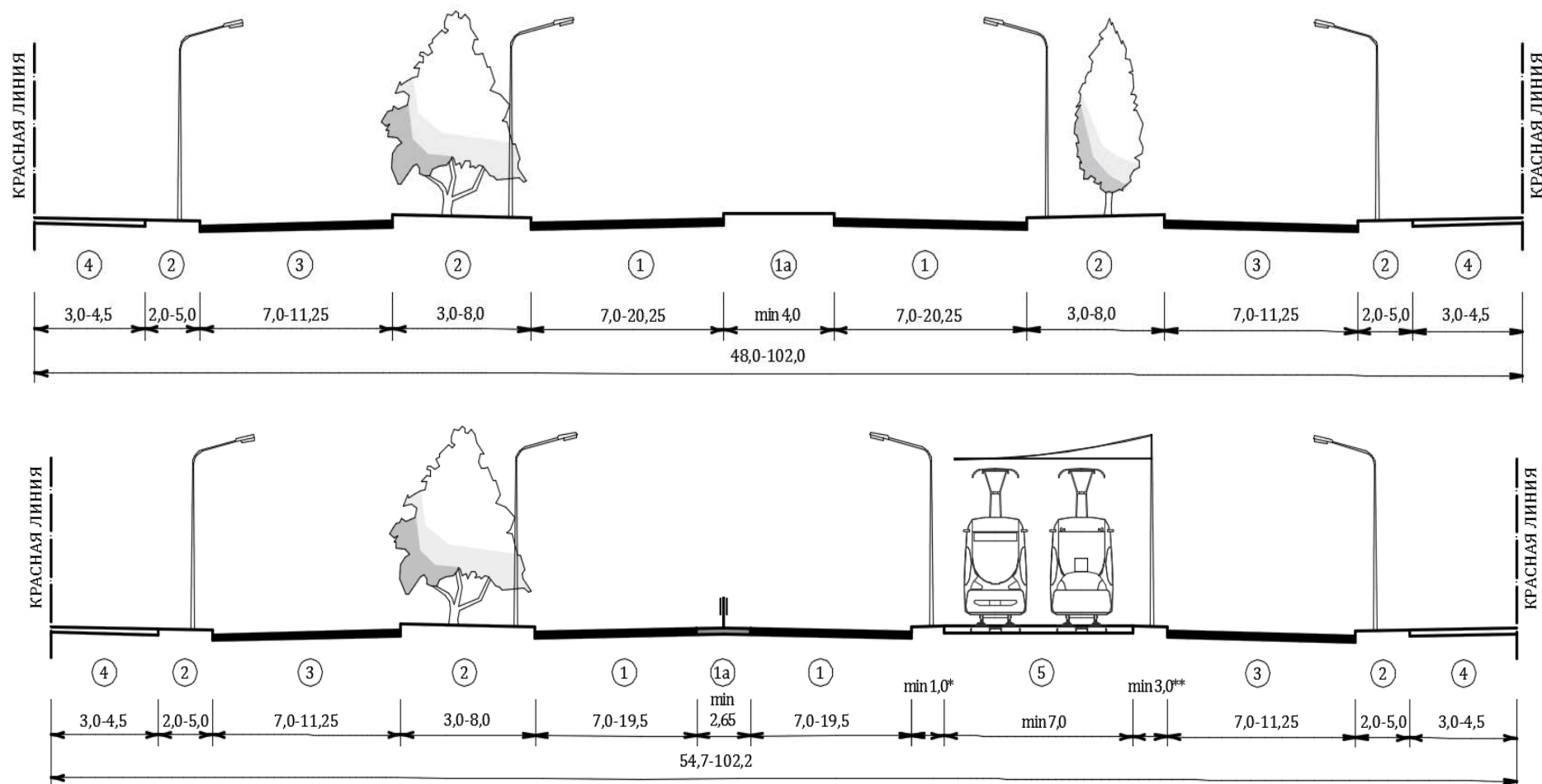


Рис. ПЗ.1. Типовые поперечные профили магистральных улиц общегородского значения  
 1 – проезжая часть; 1а – центральная разделительная полоса; 2 – газон; 3 – боковой проезд;  
 4 – тротуар; 5 – трамвайное полотно

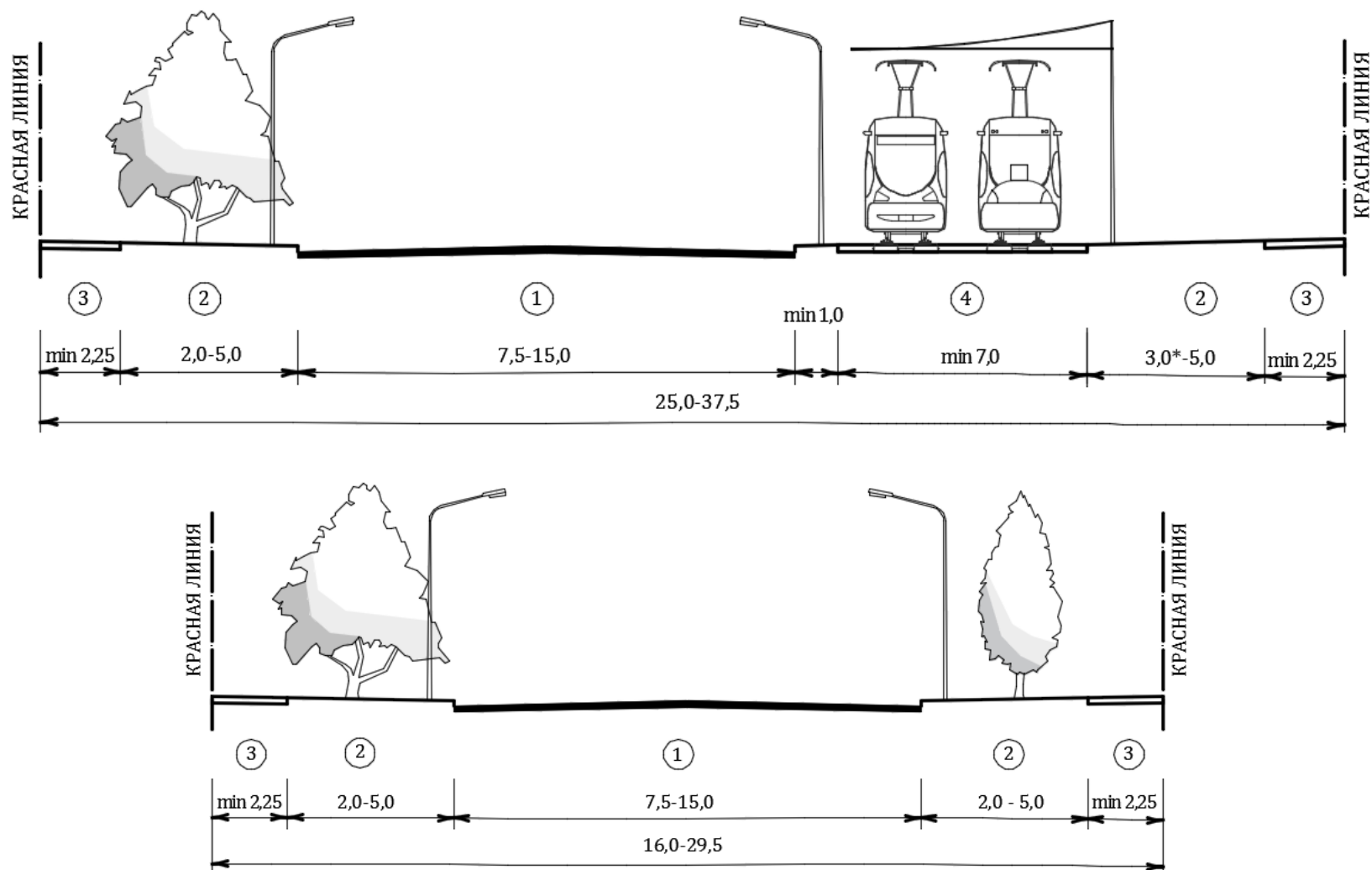


Рис. ПЗ.2. Типовые поперечные профили магистральных улиц районного значения:  
 1 – проезжая часть; 2 – газон; 3 – тротуар; 4 – трамвайное полотно

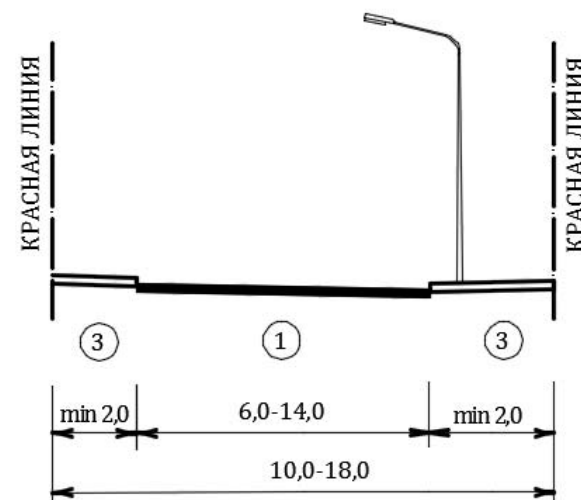
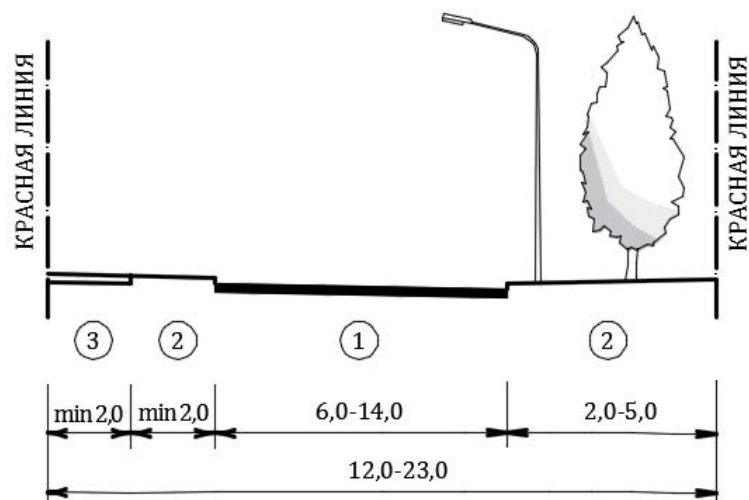
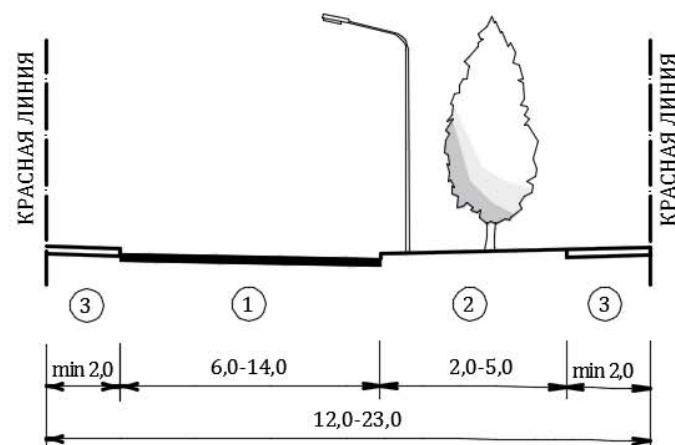
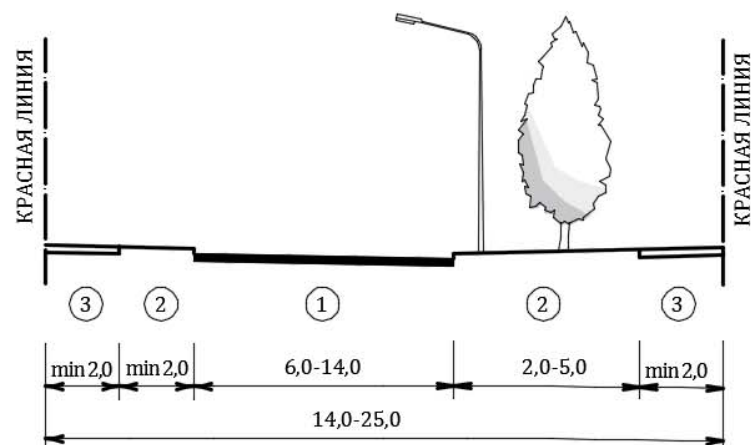


Рис. ПЗ.3. Типовые поперечные профили улиц местного значения:  
1 – проезжая часть; 2 – газон; 3 – тротуар

## 63

63

2 вариант

- 
- 
- 

1. Значения углов поворота и азимутов прямых указывать с точностью до минут.
2. Пикетажное положение элементов трассы, линейные размеры элементов кривых и прямых указывать с точностью до сантиметров.

Рис. П4.1. Ведомость углов поворота, прямых и кривых



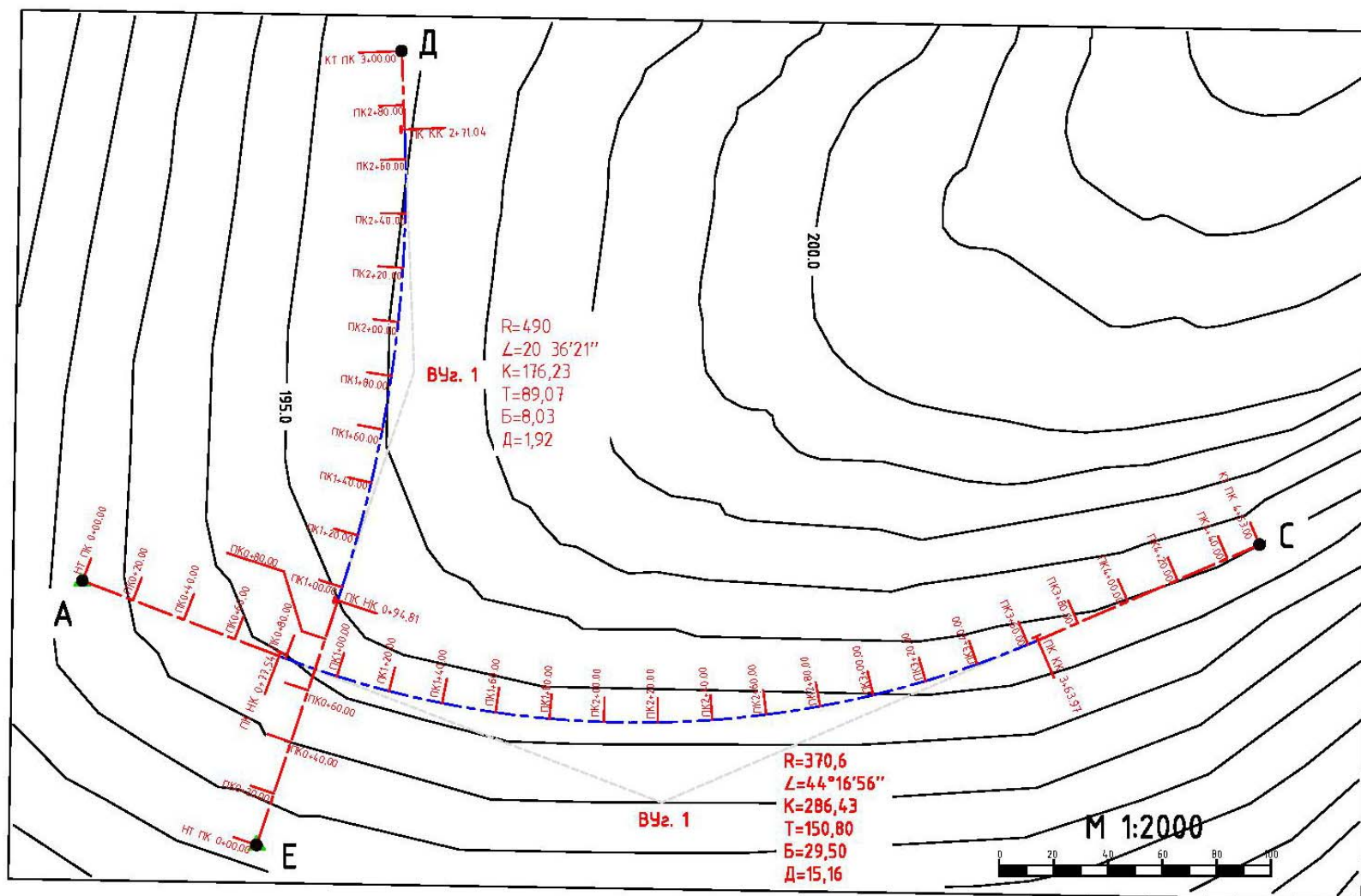
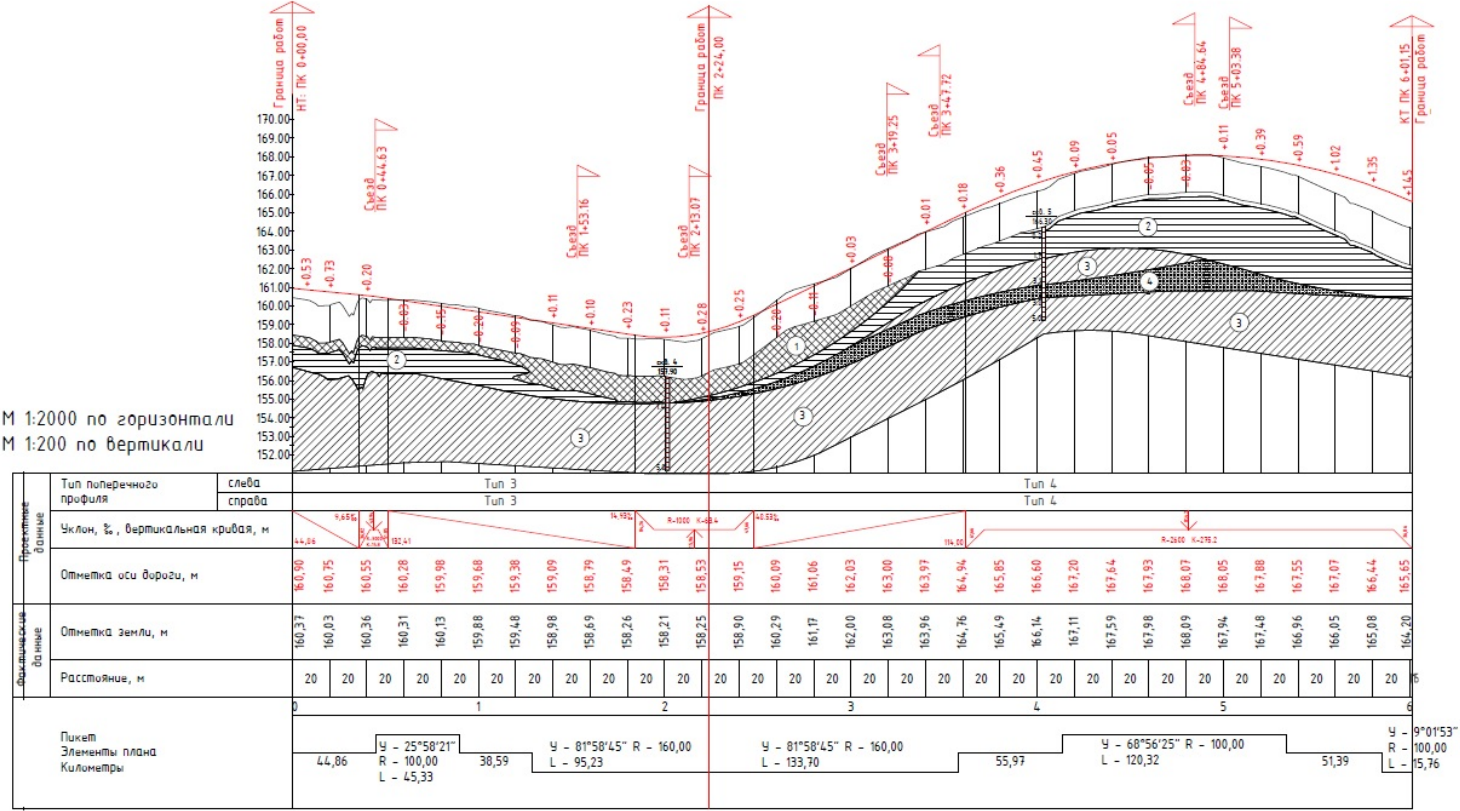


Рис. П4.2. Пример оформления плана

ПРИЛОЖЕНИЕ 5



Номер ИГЭ	Группа грунта	Наименование грунта
1	II	Насыль-Суглинок коричневый, тугоплот., с прослойки песка крупнозернистый, с включением осколков коры, щебня, мушкет строй-Белого ИДУ
2	III	Глина светло-коричневая, легкая, полутвердая, с прослойкой суглинка тугоплот., непроходима, среднеобломанная ИДУ-III
3	III	Суглинок светло-серый, средне-зер., супесчаный, легкий, непроход., тугоплотный, с прослойкой суглика глина, тугоплотный, с вод. краской до 5% ИДУ-III
4	II	Песок пылеватый светло-желтого-коричневый, средней степени выраженности, с прослойкой суглика пластичный, песок мелкого, мелкий ИДУ-III

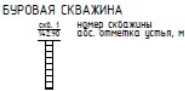


Рис. П5.1. Пример оформления продольного профиля

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

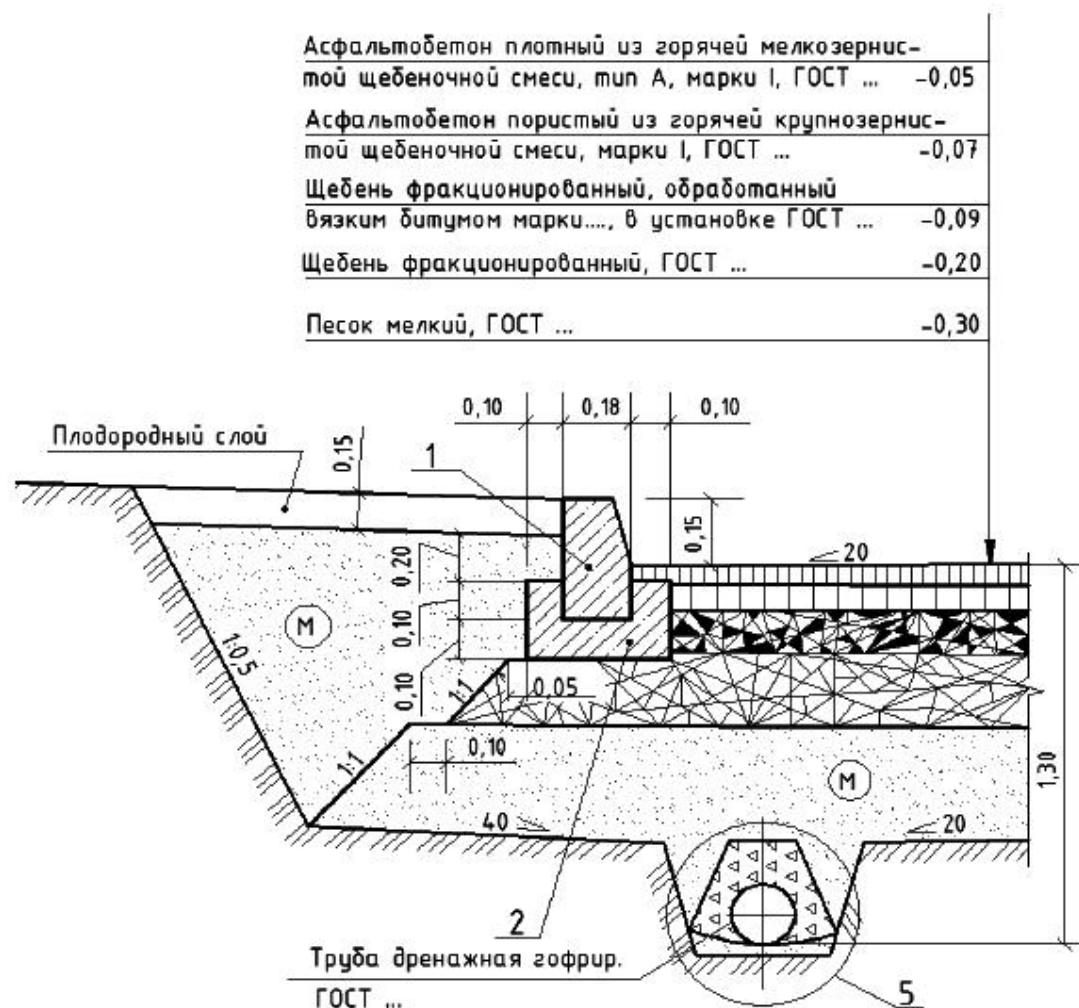


Рис. П6.1. Пример оформления конструкции дорожной одежды

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 21.1101-2013. Система проектной документации в строительстве (СПДС). Основные требования к проектной и рабочей документации.
2. ГОСТ 21.701-2013. Система проектной документации для строительства (СПДС). Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог.
3. ГОСТ 32868-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению инженерно-геологических изысканий.
4. Транспортная планировка городов / А.В. Косцов, И.А. Бахирев, Е.Н. Боровик, Д.С. Мартягин. – М.: А-проджект, 2017. – 102 с.
5. ОДМ 218.4.005-2010. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. – М., 2011.
6. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд.
7. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85\*.
8. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\*.
9. СП 59.13330.2016. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001.
10. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99\*.
11. Щит, Б.А. Проектирование вертикальной планировки и водотока / Б.А. Щит. – М.: МАДИ, 1985. – 56 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
<b>1. Составление краткой характеристики природных условий района проектирования .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Определение основных технических параметров проектируемой улицы .....</b>	<b>4</b>
<i>Пример №1</i> .....	5
<b>3. Разработка поперечного профиля улицы .....</b>	<b>6</b>
3.1. Общие сведения .....	6
3.2. Расчет ширины проезжей части городской улицы .....	8
3.3. Расчет ширины тротуаров .....	10
3.4. Назначение ширин полос озеленения .....	11
3.5. Вертикальное решение поперечного профиля .....	12
<i>Пример №2</i> .....	12
<b>4. Проектирование улицы в плане .....</b>	<b>15</b>
4.1. Общие положения .....	15
4.2. Трассирование улицы .....	15
4.3. Назначение параметров кривых в плане .....	16
4.4. Оформление плана .....	18
<i>Пример №3</i> .....	19
<b>5. Проектирование продольного профиля улицы .....</b>	<b>19</b>
5.1. Общие положения .....	19
5.2. Определение контрольных (опорных) точек .....	21
5.3. Проектирование проектной линии методом «тангенсов» .....	21
5.4. Оформление продольного профиля улицы .....	24
<b>6. Построение вертикальной планировки .....</b>	<b>24</b>
6.1. Общие сведения .....	24
6.2. Построение вертикальной планировки методом проектных горизонталей .....	24
6.3. Выполнение вертикальной планировки улиц с переломами в продольном профиле .....	27
6.4. Выполнение вертикальной планировки пересечений городских улиц .....	29
6.5. Оформление проекта вертикальной планировки улицы .....	32
<i>Пример №4</i> .....	33
<b>7. Проектирование дорожной одежды .....</b>	<b>38</b>
7.1. Общие сведения .....	38
7.2. Толщины конструктивных слоев дорожной одежды и применяемые материалы .....	39
7.3. Исходные данные для расчета конструкции дорожной одежды .....	40
<i>Пример №5</i> .....	42
Приложение 1 .....	56
Приложение 2 .....	57
Приложение 3 .....	60
Приложение 4 .....	63
Приложение 5 .....	65
Приложение 6 .....	66
Список литературы .....	67