

7.1 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВИРАЖА

7.1.1 Общие положения

Материал излагается по учебному пособию [1].

Для уменьшения центробежной силы, возникающей при движении автомобиля по кривой, необходимо сместить центр тяжести автомобиля в сторону действия центробежной силы, чтобы составляющая веса автомобиля ей противодействовала (рис. 7.1). Это возможно, если выполнить односкатный поперечный профиль проезжей части на кривой – *вираж*. С его помощью можно погасить 1/3-1/4 действующей на автомобиль центробежной силы. При этом увеличивается устойчивость автомобиля, повышается безопасность движения, водитель уверенно управляет автомобилем без снижения скорости движения.

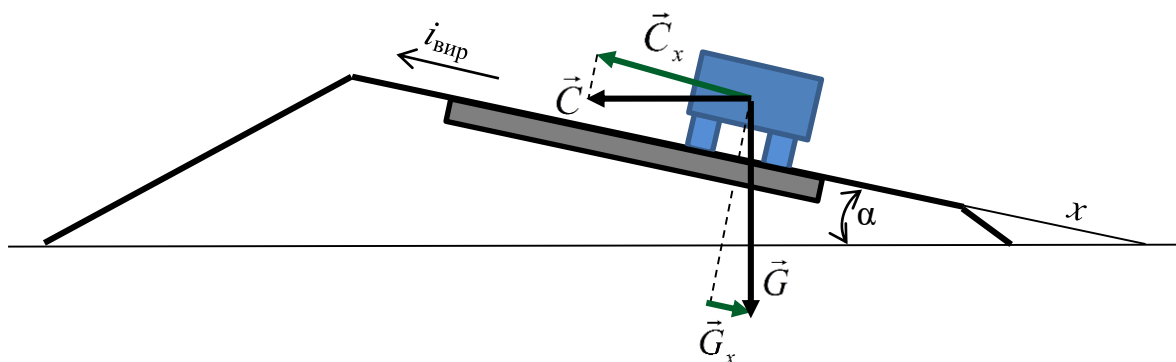


Рисунок 7.1 – Силы, действующие на вираже

Виражи устраивают на всех кривых с радиусом $R < 3000$ м на дорогах I-й категории и меньше 2000 м – на дорогах остальных категорий. На вираже выделяют следующие элементы:

- *отгон виража* $L_{отг}$ – участок, на котором происходит переход от двускатного профиля к односкатному и наоборот;
- *участок с односкатным профилем* на круговой кривой;
- *уклон виража* $i_{вир}$ – поперечный уклон односкатного профиля проезжей части. Расположение элементов виража на плане показано на рис. 7.2.

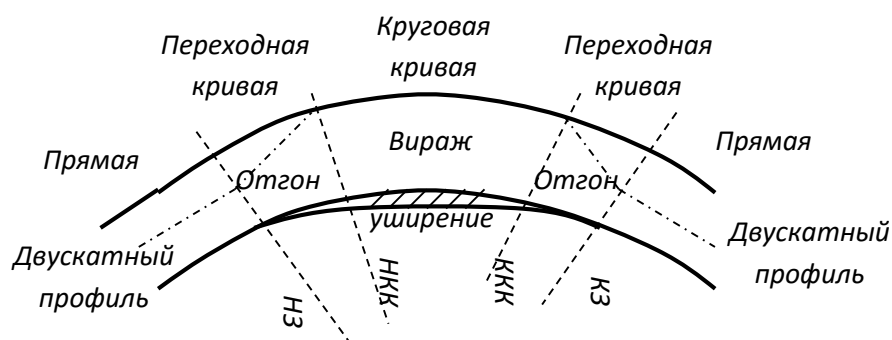


Рисунок 7.2 – Элементы виража в плане

Уклон виража назначается по формуле

$$i_{\text{вир}} = \frac{V^2}{gR} - \mu, \quad (7.1)$$

где V – скорость движения, м/с; R – заданный радиус кривой, м; μ – коэффициент поперечной силы.

Согласно [2] поперечный уклон проезжей части на вираже назначают в зависимости от радиусов кривых в плане в пределах от 20‰ до 60‰ (табл. 7.1). В районах с частой гололедицей, в которых обледенение проезжей части составляет более 10 дней в году, уклон виража принимают не более 40‰.

Уклон обочин на виражах принимают равным уклону проезжей части. Переход уклона обочин от нормального уклона ($i_{об}$) к уклону проезжей части ($i_{поп}$) осуществляют на протяжении 10 м. При этом предусматривают их укрепление.

На внешней кромке виража за счёт ее поднятия возникает дополнительный уклон $i_{доп}$. По отношению к проектному продольному уклону $i_{прод}$ он не должен превышать следующих величин: $i_{доп} \leq 5 \text{ ‰}$ для дорог I и II категории; $i_{доп} \leq 10 \text{ ‰}$ для дорог III и II категории; $i_{доп} \leq 20 \text{ ‰}$ для дорог в горной местности. Минимальная длина отгона виража составляет

$$L_{\text{отг}}^{\text{min}} = \frac{B \cdot i_{\text{вир}}}{i_{\text{доп}}}, \quad (7.2)$$

где B – ширина покрытия дорожной одежды (ширина проезжей части и две крайние полосы). Если эта величина оказывается меньше длины переходной кривой, то длину отгона виража принимают равной длине переходной кривой:

$$L_{\text{отг}} = L.$$

Таблица 7.1 - Значения уклона виража в зависимости от радиуса кривой

Радиусы кривых в плане, м	Поперечный уклон проезжей части на виражах, ‰	
	основной, наиболее распространенный	в районах с частой гололедицей
3000 м и более для дорог I категории, 2000 и более для остальных категорий	двускатный поперечный профиль	то же
от 3000 (2000) -1000	20 - 30	20 - 30
1000 -700	30 - 40	30 - 40
700 - 650	40 - 50	40
650 - 600	50 - 60	40
менее 600	60	

7.2 Порядок расчета и разбивки виража

Расчет виража выполняют в такой последовательности:

1. Определяют минимальную длину отгона виража по формуле (7.2) и назначают проектную длину отгона виража $L_{отг}$.

2. Поперечные уклоны проезжей части и обочины $i_{поп}$ и $i_{об}$ соответственно принимают по таблице основных технических показателей автомобильной дороги.

3. Длину отгона виража разбивают на ряд отрезков и на каждом отрезке намечают ряд поперечников, характеризующихся поперечными уклонами, приведенными в табл. 7.2.

Таблица 7.2 – Значения уклонов характерных элементов профиля

Характерные элементы поперечного профиля	Поперечный уклон элементов в сечениях, ‰						
	0-0'	1-1'	2-2'	3-3'	4-4'	5-5'	6-6'
Внешняя обочина	+40	+20	0	-20	-30	-40	-60
Внешняя половина проезжей части	+20	+20	0	-20	-30	-40	-60
Внутренняя половина проезжей части	-20	-20	-20	-20	-30	-40	-60
Внутренняя обочина	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-60

Примечания: 1. Знак «+» соответствует поперечному уклону, направленному от центра закругления; 2. Знак «-» соответствует поперечному уклону, направленному к центру закругления.

Конструирование (разбивку) виража осуществляют в несколько стадий.

1-я стадия. За 10 м до начала отгона виража внешней обочине придают уклон, равный поперечному уклону проезжей части, то есть внешнюю бровку земляного полотна на протяжении 10 м поднимают на величину

$$h'_1 = b_{об}(i_{об} - i_{поп}), \quad (7.3)$$

где $b_{об}$ – ширина обочины, $i_{об}$ – уклон обочины, $i_{поп}$ – поперечный уклон проезжей части.

В том случае, когда уклон виража меньше уклона обочин, до начала отгона виража (за 10 м) внешней обочине придают уклон, равный уклону проезжей части, а внутренней обочине – уклон, равный уклону виража.

2-я стадия. Внешнюю половину дорожного полотна вращают вокруг оси дороги до тех пор, пока не будет достигнут односкатный поперечный профиль с поперечным уклоном, равным поперечному уклону при 2-х скатном профиле. Если уклон виража равен поперечному уклону проезжей части, то конструирование виража заканчивается на 2-й стадии.

Минимальное расстояние, на котором внешняя полоса примет уклон внутренней полосы, определяют по формуле

$$l_1 = \frac{B \cdot i_{\text{поп}}}{i_{\text{доп}}} \quad (7.4)$$

3-я стадия. Всю линию верха земляного полотна вращают вокруг его внутренней бровки до создания уклона внутренней обочины. Минимальное расстояние вычисляется по формуле

$$l_2 = \frac{B \cdot (i_{\text{об}} - i_{\text{поп}})}{i_{\text{доп}}} \quad (7.5)$$

Если уклон виража равен поперечному уклону обочины, то конструирование виража заканчивается на 3-й стадии.

4-я стадия. Если уклон виража превышает уклон внутренней обочины, то всю линию верха земляного полотна вращают вокруг его внутренней кромки до создания необходимого уклона виража. При этом отметка внутренней бровки обычно уменьшается, а отметки остальных характерных точек увеличиваются. Минимальное расстояние, на котором верху земляного полотна следует принять уклон виража, определяют по формуле

$$l_3 = \frac{B \cdot (i_{\text{вир}} - i_{\text{об}})}{i_{\text{доп}}} \quad (7.6)$$

Учитывая, что длина отгона принимается равной длине переходной кривой $L_{\text{отг}} = L$, то проектные значения длин l_1 , l_2 и l_3 назначаются в зависимости от длины переходной кривой и уклона виража (см. табл. 7.3).

Таблица 7.3 – Длины конструктивных участков отгона виража

Уклон виража	l_1	l_2	l_3
$i_{\text{вир}} = i_{\text{поп}}$	L	0	0
$i_{\text{вир}} = i_{\text{об}}$	$L/2$	$L/2$	0
$i_{\text{вир}} > i_{\text{об}}$	$L/3$	$L/3$	$L/3$

Полученные участки делят на несколько равных частей и для каждого промежуточного значения (через 5-10 м) вычисляют превышения и отметки всех характерных точек верха земляного полотна.

Характерными точками являются:

- ось дороги;
- внешняя и внутренняя кромки дорожной одежды;
- внешняя и внутренняя бровки земляного полотна.

Превышения h всех характерных точек вычисляют для каждого промежуточного сечения в соответствии с поперечным уклоном в данном сечении $i_{\text{сеч}}$:

$$h = i_{\text{сеч}} \cdot b,$$

где b – расстояние от неподвижной точки поперечника до точки, превышение которой требуется вычислить.

Полученные превышения используют при определении истинных проектных отметок на каждом поперечнике путем суммирования их с отметками и вычитания в зависимости от положения точек поперечника относительно внутренней кромки проезжей части.

Если в пределах кривой есть продольный уклон, то предварительно определяют отметки внутренней кромки на всех поперечниках с учетом продольного уклона. Затем истинные проектные отметки получают путем суммирования отметок внутренней кромки с превышениями h .

Пикетное положение при разбивке отгона виража принимают следующим образом. Начало отгона виража совмещают с началом закругления. Придание уклона внешней обочине, равного поперечному уклону проезжей части (первая стадия разбивки), осуществляют за 10 м до начала закругления. Пикетное положение каждого из назначенных поперечников определяют, используя ранее вычисленные значения l_1 , l_2 и l_3 .

7.3 Пример расчета отгона виража

Необходимо запроектировать вираж при следующих исходных данных: дорога III технической категории; продольный уклон $i_{пр} = 15\%$; проектная отметка оси дороги в начале отгона виража (НЗ) составляет 145,5 м; радиус круговой кривой $R=600$ м; длина переходной кривой $L=120$ м; ширина проезжей части $в_{пр}=7,0$ м; ширина краевой полосы $в_{КП}=0,5$ м; ширина неукрепленной части обочины $б_{об}=2,0$ м; поперечный уклон проезжей части $i_{поп} = 20\%$; поперечный уклон обочины $i_{об}=40\%$; уклон виража 60% .

Определим минимальную длину отгона виража по формуле (7.2). Для дороги III технической категории $i_{доп} = 10\%$, следовательно,

$$L_{отг}^{min} = \frac{(7 + 2 \cdot 0,5) \cdot 0,06}{0,01} = 48 \text{ м.}$$

Так как длина отгона виража меньше длины переходной кривой, то совмещают длину отгона с длиной переходной кривой, то есть $L_{отг}=120$ м.

Найдем расстояние, на котором внешняя половина верха земляного полотна примет уклон внутренней полосы движения:

$$l_1 = \frac{8 \cdot 0,02}{0,01} = 16 \text{ м.}$$

Так как длина отгона принимается равной длине переходной кривой, то $l_1=120/3=40$ м.

Вычисляем минимальное расстояние, на котором верху земляного полотна следует придать уклон виража.

$$l_2 = \frac{8 \cdot (0,06 - 0,02)}{0,01} = 32 \text{ м.}$$

Учитывая, что длина отгона принимается равной длине переходной кривой, то $l_2 = 120 - 40 = 80 \text{ м.}$

Выделим на поперечнике характерные точки: a – внутренняя бровка земляного полотна, b – внутренняя кромка дорожной одежды (краевой полосы), c – ось дороги, d – внешняя кромка дорожной одежды (краевой полосы), e – внешняя бровка земляного полотна. Эти точки в сечении 0-0' (рис. 7.3) имеют следующие отметки относительно горизонтальной линии, проходящей через бровки:

$$h_a = h_e = 0,0 \text{ м;}$$

$$h_b = h_d = i_{об} \cdot b_{об} = 0,04 \cdot 2 = 0,08 \text{ м;}$$

$$h_c = h_b + i_{поп} \cdot (b_{пол} + b_{КП}) = 0,08 + 0,02 \cdot (3,5 + 0,5) = 0,16 \text{ м.}$$

Данные заносим в табл. 7.4.

Внешнюю бровку земляного полотна на протяжении 10 м до начала отгона поднимаем на величину, вычисленную по формуле (7.3):

$$h'_1 = 2 \cdot (0,04 - 0,02) = 0,04 \text{ м.}$$

Таким образом, в сечении 1-1' изменится отметка в точке e : $H_e = 0,04 \text{ м.}$

Таблица 7.4 – Отметки превышения в характерных точках для разных сечений

Сечение	Относительные отметки характерных точек поперечника, м				
	a	b	c	d	e
0-0'	0,0	0,08	0,16	0,08	0
1-1'	0,0	0,08	0,16	0,08	0,04
2-2'	0,0	0,08	0,16	0,16	0,16
3-3'	0,0	0,08	0,16	0,24	0,28
4-4'	0,0	0,08	0,20	0,32	0,38
5-5'	0,0	0,08	0,24	0,40	0,48
6-6'	-0,04	0,08	0,32	0,56	0,68

В сечении 2-2' внешняя половина верха земляного полотна имеет нулевой уклон, следовательно, $h_a = h_b = h_c = 0,16 \text{ м.}$ Остальные характерные точки свои отметки сохранили.

В сечении 3-3' верх земляного полотна имеет односкатный профиль с уклоном, равным поперечному уклону проезжей части $i_{поп} = 20\%$. Тогда относительные отметки в характерных точках:

$$h_d = h_c + i_{поп} \cdot (b_{пол} + b_{КП}) = 0,16 + 0,02 \cdot (3,5 + 0,5) = 0,24 \text{ м;}$$

$$h_e = h_d + i_{поп} \cdot b_{об} = 0,24 + 0,02 \cdot 2 = 0,28 \text{ м.}$$

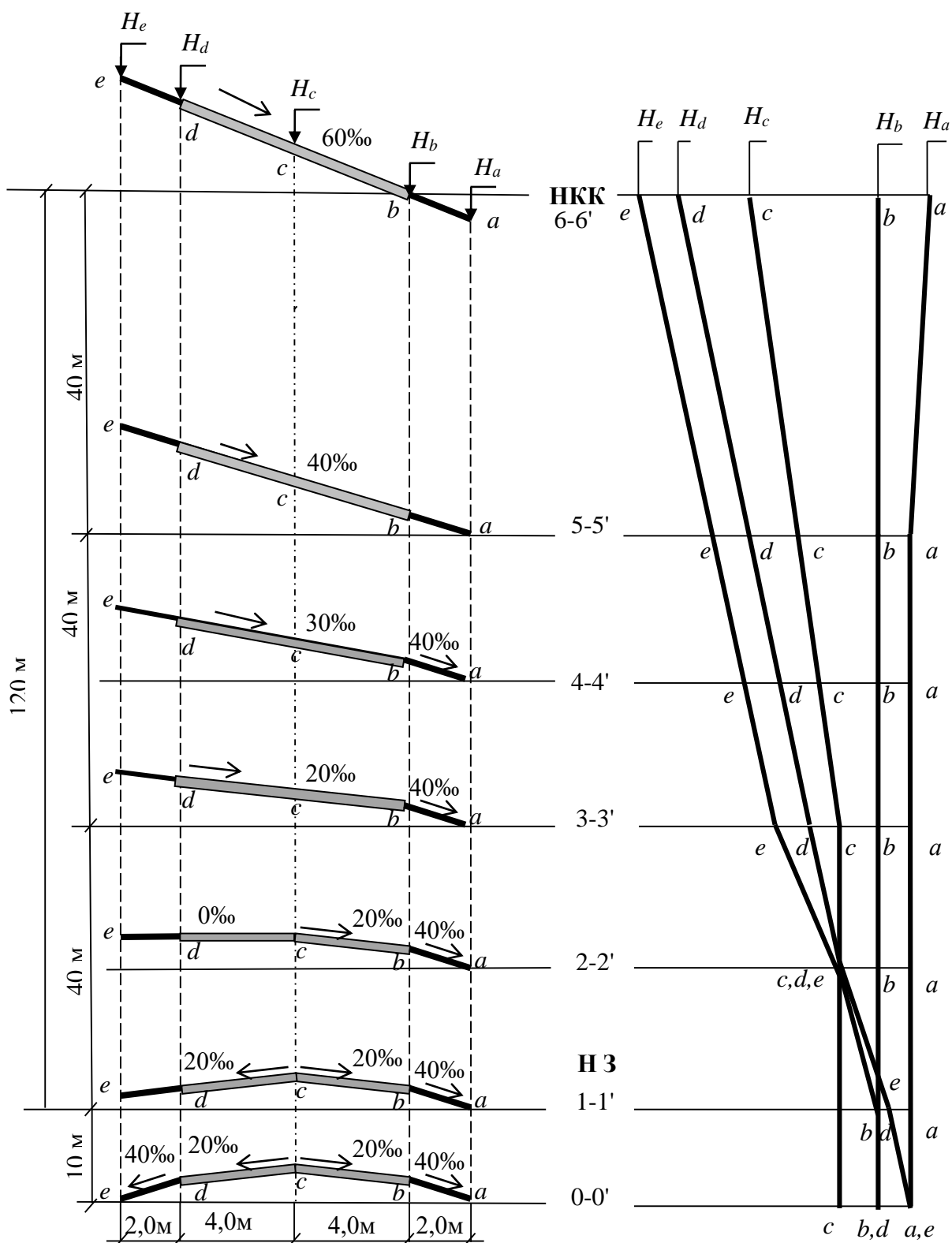


Рисунок 7.3 – Схема отгона виража

В сечении 4-4' внешняя обочина и проезжая часть имеют уклон 30‰. Следовательно, отметки характерных точек примут значения:

$$h_c = h_b + 0,03 \cdot (b_{\text{пол}} + b_{\text{КП}}) = 0,08 + 0,03 \cdot (3,5 + 0,5) = 0,2 \text{ м;}$$

$$h_d = h_c + 0,03 \cdot (b_{\text{пол}} + b_{\text{КП}}) = 0,2 + 0,03 \cdot (3,5 + 0,5) = 0,32 \text{ м};$$

$$h_e = h_d + 0,03 \cdot b_{\text{об}} = 0,32 + 0,03 \cdot 2 = 0,38 \text{ м}.$$

В сечении 5-5' весь верх земляного полотна имеет уклон 40%. Следовательно, снова изменятся отметки характерных точек c, d и e :

$$h_c = h_b + 0,04 \cdot (b_{\text{пол}} + b_{\text{КП}}) = 0,08 + 0,04 \cdot (3,5 + 0,5) = 0,24 \text{ м};$$

$$h_d = h_c + 0,04 \cdot (b_{\text{пол}} + b_{\text{КП}}) = 0,24 + 0,04 \cdot (3,5 + 0,5) = 0,40 \text{ м};$$

$$h_e = h_d + 0,04 \cdot b_{\text{об}} = 0,40 + 0,04 \cdot 2 = 0,48 \text{ м}.$$

В сечении 6-6' весь верх земляного полотна имеет уклон виража 60%. При этом происходит вращение вокруг внутренней кромки. Тогда отметки характерных точек будут иметь значения:

$$h_a = h_b - 0,06 \cdot b_{\text{об}} = 0,08 - 0,06 \cdot 2 = -0,04 \text{ м};$$

$$h_b = 0,08 \text{ м};$$

$$h_c = h_b + 0,06 \cdot (b_{\text{пол}} + b_{\text{КП}}) = 0,08 + 0,06 \cdot (3,5 + 0,5) = 0,32 \text{ м};$$

$$h_d = h_b + 0,06 \cdot B = 0,08 + 0,06 \cdot 8 = 0,56 \text{ м}.$$

$$h_e = h_d + 0,06 \cdot b_{\text{об}} = 0,56 + 0,06 \cdot 2 = 0,68 \text{ м}.$$

Вычислим проектные отметки в сечении 1-1'. Согласно исходным данным, абсолютная отметка оси дороги $H_0 = 145,5$ м. Отметка условного горизонта, относительно которого вычисляются отметки h_a, h_b, h_c, h_d, h_e ,

$$H_{\text{УГ}} = H_0 - i_{\text{поп}} \cdot (b_{\text{пол}} + b_{\text{КП}}) - i_{\text{об}} \cdot b_{\text{об}}. \quad (7.7)$$

Подставляя в (7.7) исходные данные примера, получим, что

$$H_{\text{УГ}} = 145,5 - 0,02 \cdot (3,5 + 0,5) - 0,04 \cdot 2 = 145,34 \text{ м}.$$

Тогда, пользуясь данными из табл.7.4, абсолютные отметки характерных точек составят:

$$H_a = 145,34 + 0,00 = 145,34 \text{ м};$$

$$H_b = 145,34 + 0,08 = 145,42 \text{ м};$$

$$H_c = 145,34 + 0,16 = 145,50 \text{ м};$$

$$H_d = 145,34 + 0,08 = 145,42 \text{ м};$$

$$H_e = 145,34 + 0,04 = 145,42 \text{ м}.$$

В сечении 6-6' отметка проектной линии продольного профиля составляет $H_0 = 145,5 + 0,015 \cdot 120 = 147,30$ м. Тогда отметка условного горизонта

$$H_{\text{УГ}} = 147,30 - 0,02 \cdot (3,5 + 0,5) - 0,04 \cdot 2 = 147,14 \text{ м}.$$

Остальные отметки вычисляем с помощью данных из табл. 7.4.

$$H_a = 147,14 - 0,04 = 147,10 \text{ м};$$

$$H_b = 147,14 + 0,08 = 147,22 \text{ м};$$

$$H_c = 147,14 + 0,32 = 147,46 \text{ м};$$

$$H_d = 147,14 + 0,56 = 147,70 \text{ м};$$

$$H_e = 147,14 + 0,68 = 147,82 \text{ м}.$$

Источники информации

1. Проектирование автомобильных дорог. Основы [Электронный ресурс]: учебное пособие /В.И. Жуков В.И., Т.В. Гавриленко. – Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2014. – 144 с.
2. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.