РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖА ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НАСЫПИ

1 Выбор поперечных сечений дороги для построения поперечных профилей земляного полотна. *Земляным полотном* называют основание из грунта для устройства на нём дорожной одежды автомобильных дорог [1-3]. Земляное полотно подразделяется на *насыпи* и *выемки*.

Количество чертежей поперечного профиля земляного полотна равняется количеству типов поперечного профиля, привязанных к трассе. Перед началом построения необходимо выбрать пикеты, в привязке к которым будут построены поперечные профили. С целью создания наиболее наглядных чертежей, для построения поперечного профиля насыпи высотой до двух метров, рекомендуется взять сечение дороги (пикет), на котором рабочая отметка находится в пределах 1,0-2,0 м. Поперечные профили насыпей высотой от 6 до 12 м, следует брать на пикете, где рабочая отметка находится в пределах 7-12 м. Если по всей трассе конструкции данного типа не достигают высоты 7 м, то берут пикет, на котором имеет место максимальная рабочая отметка.

Поперечное сечение дороги с мелкой выемкой рекомендуется выбирать с рабочей отметкой как можно ближе к 1 м. Каких-то особых рекомендаций по выбору сечений дороги с другими типами поперечных профилей земляного полотна не требуется.

2 Назначение масштаба чертежа. Рассмотрим порядок построения чертежа поперечного профиля земляного полотна, приведённого на рис. 1.

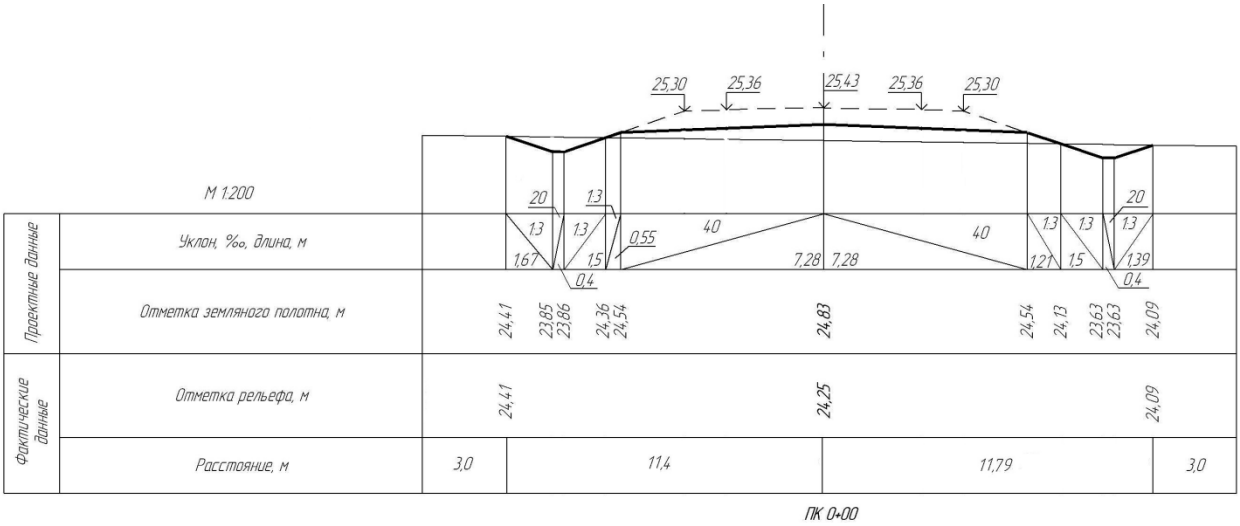

Рисунок 1 – Чертёж поперечного профиля земляного полотна – насыпи до 2 м с кюветами

Пусть дана дорога IV категории, запроектированная во второй дорожно-климатической зоне. Толщина дорожной одежды составляет 0,6 м.

Необходимо запроектировать поперечный профиль земляного полотна в виде насыпи высотой до 2 м с кюветами. На чертеже продольного профиля дороги выбираем ПК 0+00, где рабочая отметка составляет 1,18 м. Из чертежа продольного профиля выписываем отметку рельефа 24,25 м и проектную отметку (отметку оси дороги) 25,43 м.

Чтобы определиться с размерами и компоновкой чертежа, найдём фактическую ширину *полосы отвода*[1] в выбранном поперечном сечении автомобильной дороги. Расстояния от оси дороги до *границы постоянной полосы отвода* определяют в соответствии с нормами отвода земель для автомобильных дорог[2].

На рис. 2 приведена схема поперечного профиля насыпи с кюветами, с помощью которой определим ширину полосы отвода.

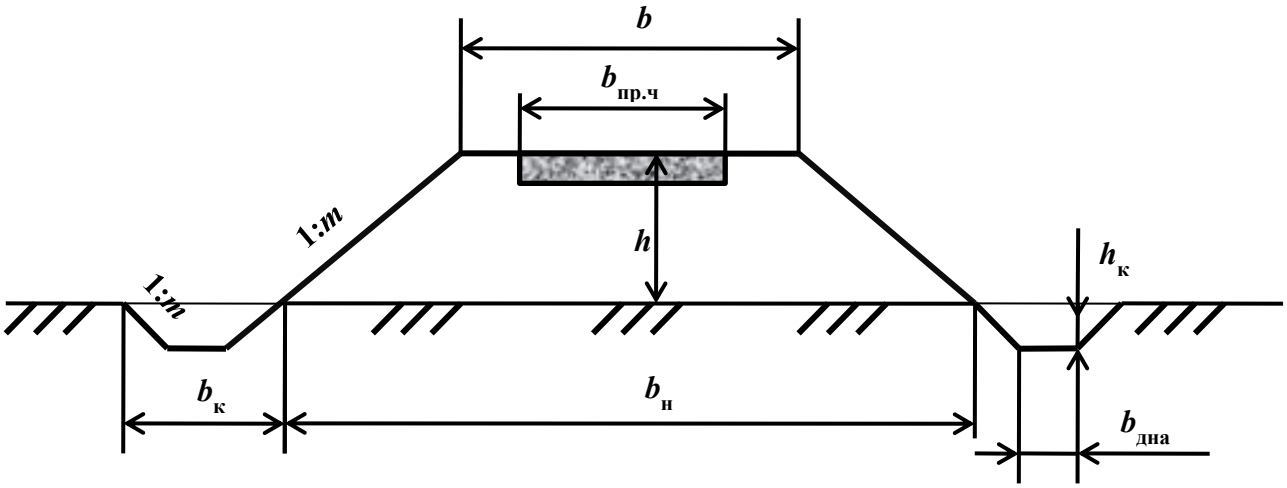

Рисунок 2 – Схема поперечного профиля насыпи с кюветами

Ширина полосы отвода складывается из:

- ширины подошвы насыпи $b_н$;
- ширины кювета $b_к$ слева и справа от насыпи;

---

[1] *Полосой отвода автомобильной дороги* называют земельные участки, предназначенные для размещения конструктивных элементов автомобильной дороги, дорожных сооружений и объектов дорожного сервиса [4].

[2] Они изложены в Постановлении Правительства Российской Федерации № 717 от 02.09.2009 г. [5].

- ширины прилегающих к кюветам полос $b_{пр}$ – земельных участков, предназначенных для обеспечения необходимых условий производства работ по содержанию автомобильных дорог, посадкам зелёных насаждений, обеспечению видимости. Ширина этих полос должна быть не менее 3 м с каждой стороны дороги.

Тогда ширина полосы отвода составит

$$b_{по} = b_н + 2b_к + 2b_{пр}\,. \qquad (1)$$

Ширина подошвы насыпи складывается из *ширины земляного полотна* (расстояния между бровками земляного полотна[3]) b и двух проекций откоса на поверхность земли $h_{бр}\cdot m$, где $h_{бр}$ – рабочая отметка по бровке земляного полотна, m – заложение откоса. Тогда

$$b_н = b + 2mh_{бр}\,. \qquad (2)$$

Ширина кювета определяется по аналогичному правилу

$$b_к = b_{дна} + 2mh_к\,, \qquad (3)$$

где $b_{дна}$ – ширина кювета по дну, $h_к$ – глубина кювета.

Ширину кювета по дну обычно принимают $b_{дна}$ = 0,4 м, а его глубину $h_к$ = 0,5 м. В нормах отвода земли [5] заложение откоса кювета принято равным заложению откоса насыпи.

Так как в рассматриваемом примере дорога имеет IV категорию, то m = 3. Тогда, подставляя значения параметров в формулу (3),

$$b_к = 0,4 + 2\cdot 3\cdot 0,5 = 0,4 + 2\cdot 1,5 = 3,4\text{ м}\,.$$

Определим ширину подошвы насыпи. Сначала найдём рабочую отметку по бровке земляного полотна, воспользовавшись формулой

$$h_{бр} = h - i_{об}b_2 - i_{поп}\frac{b_1}{2}\,, \qquad (4)$$

где b_1 – ширина дорожной одежды, b_2 – ширина обочины за вычетом краевой полосы, $i_{поп}$ – поперечный уклон покрытия дорожной одежды; $i_{об}$ – поперечный уклон обочины.

Для дороги IV категории, находящейся во II дорожно-климатической зоне, и имеющей асфальтобетонное покрытие, b_1 = 7 м; b_2 = 1,5 м; $i_{поп}$ = 0,02; $i_{об}$ = 0,04. Тогда рабочая отметка по бровке земляного полотна, вычисленная по формуле (4),

$$h_{бр} = 1,18 - 0,04\cdot 1,5 - 0,02\cdot\frac{7}{2} = 1,18 - 0,13 = 1,05\text{ м}\,.$$

[3] *Бровка земляного полотна* – это точка сопряжения обочины с откосом.

Ширина подошвы насыпи, вычисленная по формуле (2),

$$b_{н} = 10 + 2 \cdot 3 \cdot 1{,}05 = 10 + 2 \cdot 3{,}15 = 16{,}3\,м.$$

Ширина полосы отвода, вычисленная по формуле (1),

$$b_{по} = 16{,}3 + 2 \cdot 3{,}4 + 2 \cdot 3 = 16{,}3 + 6{,}8 + 6 = 29{,}1\,м.$$

Ориентируясь на полученную ширину полосы отвода, принимаем решение о масштабе чертежа. Согласно ГОСТ 21.701-2013 [6] при вычерчивании поперечных профилей земляного полотна используют основной масштаб 1:200. Также допускается масштаб 1:100. *Вертикальный и горизонтальный масштабы – одинаковые!*

Таким образом, ширина полосы отвода в масштабе 1:100 будет равна 29,1 см. С учётом горизонтального размера боковика сетки чертежа 7,5 см (рис. 3), весь чертёж по горизонтали займёт 36,6 см. В масштабе 1:200 ширина полосы отвода составит 14,55 см. С учётом горизонтального размера боковика сетки чертежа 7,5 см – 22,05 см. Окончательный выбор масштаба построения зависит от количества типов поперечного профиля. При наличии 4 типов поперечных профилей рекомендуется использовать масштаб 1:200.

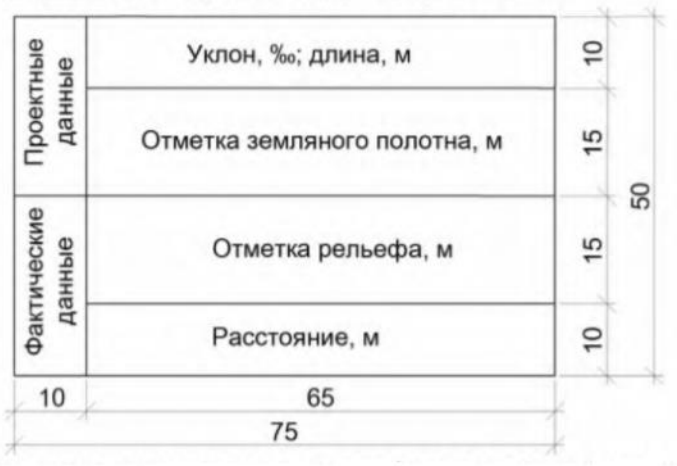

Рисунок 3 – Боковик сетки чертежа поперечного профиля земляного полотна [6]

3 Построение чертежа

3.1 Построение сетки чертежа и линии рельефа. Начинают с построения сетки чертежа и её боковика, размеры которого приведены на рис. 3. На 2-4 см выше сетки чертежа проводят линию рельефа. Этот запас необходим для построения кюветов. Если известна только отметка рельефа по оси дороги, то линию проводят горизонтальной. Если известно несколько отметок рельефа в поперечном сечении дороги, то строят поперечный профиль линии земли в соответствии с известными отметками и расстоянием между

ними. Данные по отметкам и расстоянию между ними помещают в графу «Фактические данные». Согласно [6] линия рельефа строится *сплошной тонкой линией*. На рис. 1 линия рельефа имеет небольшой поперечный уклон. По оси трассы рельеф имеет отметку 24,25 м; влево на расстоянии 11,4 м – отметку 24,41 м; вправо на расстоянии 11,79 м – отметку 24,09 м.

3.2 Построение оси дороги и проектной отметки. Далее строят вертикальную штрих-пунктирную линию, проходящую через ось трассы. На ней в масштабе чертежа от линии рельефа вверх откладывают рабочую отметку. В рассматриваемом примере рабочая отметка составляет 1,18 м, поэтому на рис. 1 проектная отметка (отметка оси дороги)

$$H_{\text{оси}} = 24{,}25 + 1{,}18 = 25{,}43 \text{ м}.$$

Ставят *знак отметки* – стрелку с полочкой (стрелку выполняют основными линиями длиной 2–4 мм, проведёнными под углом 45° к выносной линии или линии контура) и на полочке подписывают значение отметки.

3.3 Построение отметки кромки дорожной одежды. Отталкиваясь от отметки оси дороги, находят отметку кромки дорожной одежды. В примере кромка дорожной одежды находится на расстоянии 3,5 м от оси и на 0,07 м ниже отметки оси дороги:

$$H_{\text{до}} = H_{\text{оси}} - i_{\text{поп}} \frac{b_1}{2} = 25{,}43 - 0{,}02 \cdot \frac{7}{2} = 25{,}43 - 0{,}07 = 25{,}36 \text{ м}.$$

Точки кромки дорожной одежды откладывают слева и справа от оси дороги. Ставят знак отметки и подписывают значение этой отметки.

3.4 Построение отметки бровки земляного плотна. Затем переходят к построению точки бровки земляного полотна. В примере она находится на расстоянии 1,5 м от кромки дорожной одежды и на 0,06 м ниже неё.

$$H_{\text{бр}} = H_{\text{до}} - i_{\text{об}} b_2 = 25{,}36 - 0{,}04 \cdot 1{,}5 = 25{,}36 - 0{,}06 = 25{,}30 \text{ м}.$$

Точки левой и правой бровки земляного полотна откладывают соответственно слева и справа от левой и правой кромки дорожной одежды. Ставят знак отметки и подписывают значение этой отметки.

3.5 Построение откоса насыпи. Откос насыпи имеет крутизну (*коэффициент заложения*) 1:*m*. Параметр *m* называется *заложением откоса*. Откос строят от бровки земляного полотна. Сначала нужно найти точку *подошвы откоса насыпи* (точку сопряжения откоса насыпи с линией рельефа). Для этого из точки левой бровки земляного полотна опускаем перпендикуляр

на линию рельефа и от него откладываем влево величину проекции откоса насыпи на эту линию рельефа. Длина проекции составляет $m{\cdot}h_{бр}$ (рис. 4). Ранее в примере вычисления ширины подошвы насыпи было найдено, что $m{\cdot}h_{бр}$ = 3·1,05 = 3,15 м. Откос строится в виде отрезка, соединяющего бровку земляного полотна и подошву откоса насыпи.

Аналогично строится откос справа. В случае горизонтальной линии рельефа отметка подошвы откоса насыпи будет совпадать с отметкой рельефа по оси дороги ($H_п$ = 24,25 м).

3.6 Построение кювета у насыпи. Откосы кювета имеют такую же крутизну 1:m. Влево от точки подошвы откоса насыпи откладываем величину проекции *внутреннего откоса кювета* (откоса, сопряжённого с откосом насыпи) на линию рельефа $m{\cdot}h_к$ (рис. 4). Ранее в примере вычисления ширины кювета было найдено, что $m{\cdot}h_к$ = 3·0,5 = 1,5 м. От неё вниз откладываем величину глубины кювета $h_к$ = 0,5 м, чтобы построить точку с отметкой дна кювета. Абсолютная отметка дна кювета определится по формуле

$$H_{дна} = H_п - h_к \ . \qquad (5)$$

В условиях примера $H_{дна} = H_п - h_к = 24,25 - 0,5 = 23,75$ м.

Через построенные точки проводим отрезок *внутреннего откоса кювета*. Затем строим дно кювета – влево откладываем отрезок, равный ширине дна кювета $b_к$ = 0,4 м. В реальных проектах дну кювета придают поперечный уклон 20 ‰ (рис. 1), чтобы при небольшом объёме воды поток жидкости не растекался по всему дну кювета, а собирался у внешнего его откоса. Но в учебном проектировании допускается придавать дну кювета нулевой поперечный уклон. Далее с обратным уклоном аналогичным образом строим *внешний откос кювета*, выходящий на линию рельефа (рис. 4). *Линию рельефа в кюветах, показанную тонкой сплошной линией, не убирают!*

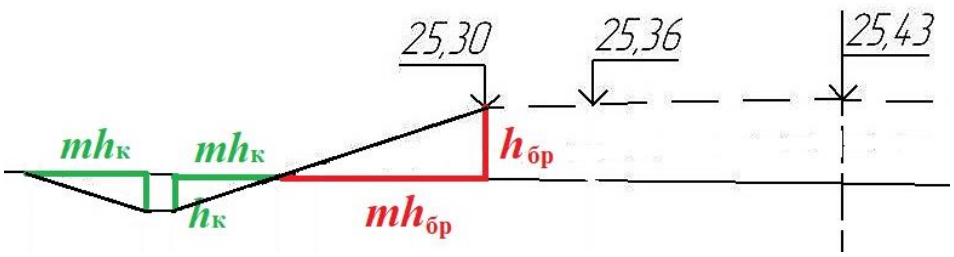

Рисунок 4 – Схема построения откоса насыпи и кювета

Кювет справа от насыпи строится аналогичным образом.

3.7 Построение линии верха земляного полотна. *Линия верха земляного полотна* – это верхняя граница насыпи, на которую укладывают дорожную одежду. Отметку земляного полотна по оси дороги определяют путём вычитания из проектной отметки $H_{оси}$ толщины дорожной одежды $h_{до}$:

$$H_{зп} = H_{оси} - h_{до}. \quad (6)$$

В нашем примере

$$H_{зп} = H_{оси} - h_{до} = 25,43 - 0,6 = 24,83 \text{ м}.$$

Эту отметку записывают в графу «Отметка земляного полотна, м». На рис. 5 данная точка обозначена буквой ***A***.

С целью обеспечения стока воды из вышележащего слоя основания дорожной одежды (*дополнительный слоя основания*[4]) на откос насыпи, линии верха земляного полотна придают уклон, равный поперечному уклону обочины (30-40 ‰). Чтобы построить эту линию необходимо сначала построить дополнительную точку ***B***, которая лежит на вертикальной линии, проходящей через бровку земляного полотна. Её отметку определяют по формуле

$$H_B = H_A - i\frac{b}{2}, \quad (7)$$

где $H_A = H_{зп}$ отметка земляного полотна по оси дороги, i – поперечный уклон линии верха земляного полотна, b – ширина земляного полотна. В условиях нашего примера

$$H_B = H_A - i\frac{b}{2} = 24,83 - 0,04 \cdot \frac{10}{2} = 24,83 - 0,2 = 24,63 \text{ м}.$$

Таким образом, точка ***B*** находится ниже точки ***A*** на 0,2 м (рис. 5). Линию верха земляного полотна проводят через точки ***A*** и ***B*** до пересечения с линией откоса насыпи. В результате пересечения этих двух линий образуется точка ***C***.

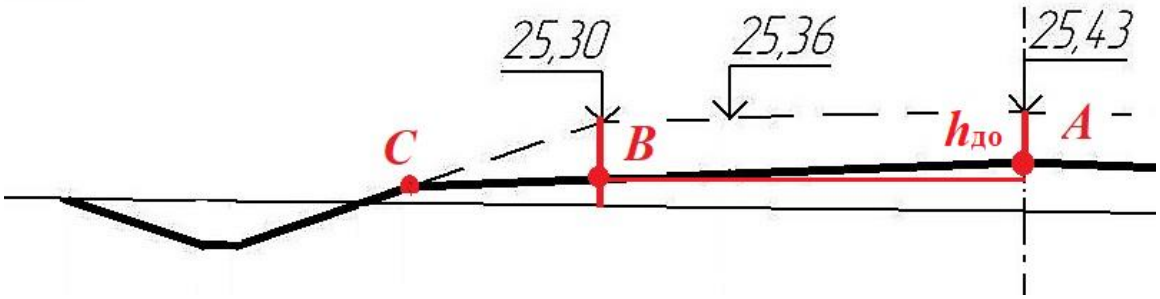

Рисунок 5 – Схема построения линии верха земляного полотна

[4] *Дополнительный слой основания* дорожной одежды – нижний слой в конструкции дорожной одежды, который выполняет роль выравнивающего, дренирующего и морозозащитного слоя.

3.8 Оформление проектной линии поперечного профиля земляного полотна. Линию верха насыпи, участок откоса насыпи от точки ***C*** до подошвы и кювет отображают *сплошной толстой линией* (чёрной или красной), т. к. это и есть *проектная линия поперечного профиля земляного полотна*, характеристики которой (уклоны и длины отрезков, отметки на переломах) записывают в графу сетки чертежа «Проектные данные».

В графе «Уклон, ‰, длина, м» для линии верха земляного полотна и линии дна кювета записывают значение уклона, измеряемое в промилле. Для откосов насыпи и кювета записывают коэффициент заложения (в нашем примере он равен 1:3). Расстояние от точки выхода линии верха земляного полотна (точка ***C***) до оси дороги определяют простым измерением. Остальные значения длин получены расчётами при построении поперечного профиля.

В графе «Отметка земляного полотна, м» записывают отметку земляного полотна по оси дороги (отметку точки ***A***). Отметку точки ***C*** определяют по формуле

$$H_C = H_A - i \cdot l_c, \qquad (8)$$

где l_C – расстояние от точки ***C*** (точки выхода линии верха земляного полотна) до оси дороги, i – поперечный уклон линии верха земляного полотна.

На чертеже (рис. 1) длина l_C = 7,28 м, тогда

$$H_C = H_A - i \cdot l_c = 24{,}83 - 0{,}04 \cdot 7{,}28 = 24{,}54 \text{ м}.$$

3.9 Построение прилегающих к земляному полотну полос. Ширину земельных участков, предназначенных для обеспечения необходимых условий производства работ по содержанию автомобильных дорог, принимаем 3 м. Откладываем влево и вправо соответственно от бровки внешнего откоса кювета по 3 метра и ставим вертикальные границы сетки чертежа. Указываем в графе «Расстояние, м» число 3,0.

3.10 Отображение линии верха проектной поверхности дороги. Строительство автомобильной дороги производят в несколько стадий. Сначала возводят грунтовые насыпи и разрабатывают выемки. На второй стадии строительства сверху земляного полотна устраивают слои дорожной одежды и присыпают к ним обочины. Т. к. эти элементы не являются элементами земляного полотна, то на чертеже поперечных профилей земляного полотна их отображают *тонкой пунктирной линией*.

Список источников

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. Федотов Г.А., Поспелов П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн.1: Учебник. – М.: Высш. шк., 2009. – 646 с.
3. СП 34.13330-2021. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* : дата введения 2021-08-10. – Москва: Минстрой России, 2021. – 99 с.
4. Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ: федер. закон №257: [принят Гос. Думой 18 окт. 2007 г.].
5. О нормах отвода земель для размещения автомобильных дорог и (или) объектов дорожного сервиса [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 2 сентября 2009 г. № 717. Доступ из справ.-правовой сист. «КонсультантПлюс».
6. ГОСТ 21.701-2013 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог. – Москва, Стандартинформ, 2014. – 35 с.