Построение проектной линии классическим методом в программе IndorCAD

1. Правила и методы нанесения проектной линии

При нанесении проектной линии руководствуются правилами:

- для комфортного проезда по автомобильной дороге рекомендуется задавать продольный уклон, не превышающий 30 ‰. Однако по условиям рельефа не всегда удаётся выдержать данное требование, поэтому допускаются уклоны, не превышающие максимальных для данной категории дороги значений и максимальных уклонов на трудных участках местности (см. табл. «Основные технические показатели автомобильной дороги»);
- недопустим пилообразный профиль;
- объём земляных работ должен быть минимальным;
- необходимо обеспечить беспрепятственный отвод поверхностной воды от земляного полотна, для этого уклоны проектной линии в местах выемок должны быть не менее 5 ‰ и длина выемок – не более 500 м;
- участки проектной линии, проходящие по мосту или путепроводу, должны иметь уклон не менее 5‰ (с целью обеспечения продольного водоотвода) и не более 30 ‰ (в условиях образования гололедицы на проезжей части искусственного сооружения).

Также необходимо соблюдать условие, чтобы длины выпуклых вертикальных кривых были не менее 300 м, вогнутых – не менее 100 м.

Возможны два способа нанесения проектной линии: *по обёртывающей* и *по секущей*. По обёртывающей прокладывают проектную линию в условиях равнинного рельефа местности и на дорогах низких категорий. В этом случае проектная линия, по возможности, эквидистантна поверхности земли. Отступают от этого правила лишь на пересечениях пониженных мест рельефа. В условиях холмистого, сильно пересечённого рельефа при таком способе проектирования проектная линия получается неспокойной. В этом случае её наносят по секущей. При этом стараются обеспечить примерный баланс земли участков насыпей и выемок, для того, чтобы грунты из выемок использовать в устройстве насыпей в пониженных местах. Т.к. при равных значениях рабочих отметок поперечное сечение выемки больше сечения насыпи, то необходимо располагать проектную линию таким образом, чтобы площадь участков выемок на продольном профиле была на 25-30% меньше площади насыпей. При использовании способа проектирования по секущей получают плавный продольный профиль.

В курсовом проектировании при нанесении проектной линии необходимо использовать метод тангенсов. Создание проектной линии состоит из двух этапов: построения ломаного хода и вписывания вертикальных кривых. Сначала наносят на чертёж все контрольные точки. Далее намечают вершины ломаной линии, которые следует размещать на возвышенностях и понижениях рельефа. Расчётные формулы метода тангенсов приведены в [1].

2. Вызов окна продольного профиля и настройка изображения

2.1. Вызов окна продольного профиля. Окно, предназначенное для проектирования продольного профиля трассы, вызывают по команде **«Модель трассы > Продольный профиль»**. Оно состоит из трёх частей: *поля чертежа*, *сетки чертежа* и *окна свойств*.

2.2. Настройка поля чертежа. На чертежах продольного профиля линейно-протяжённых объектов горизонтальный и вертикальный масштабы отличаются в 10 раз, поэто-

му в левом нижнем углу необходимо задать масштаб **1:10**. Увеличение и уменьшение изображения в поле чертежа осуществляется поворотом колеса мыши.

Проектная линия продольного профиля в заданной руководящей отметке отображается красным цветом, чёрным – линия существующей поверхности земли под осью трассы. Вертикальные линии, соответствующие разбивке трассы на поперечные профили (поперечники), отображаются светло-коричневым цветом.

Над проектной линией красным цветом показаны *рабочие отметки* (разность между отметками оси дороги и отметками земли), синим цветом в скобках – *интерполированные рабочие отметки*, необходимые в случае разработки проекта ремонта или реконструкции дороги. Чтобы убрать синие отметки необходимо щёлкнуть правой кнопкой мыши (ПКМ) по полю окна с чертежом продольного профиля и в появившемся окне убрать флажок напротив позиции «**Интерполированные отметки**».

2.3. Настройка сетки чертежа. Внизу в сетке чертежа следует также щёлкнуть ПКМ и убрать лишние параметры в появившемся окне. В разделе отметок следует оставить флажки только напротив строк с проектными отметками и отметками земли, т.к. рабочие отметки показаны над проектной линией, а интерполированные отметки используются при выполнении проекта реконструкции или ремонта дороги.

2.4. Выбор метода построения проектной линии продольного профиля. Выбор метода построения проектной линии выбирают с помощью окна свойств продольного профиля. На ветке «**Варианты профилей**» следует нажать графическую кнопку **<+ Добавить>** и выбрать «**Новый профиль > Классический (пустой)**» (рис. 1).

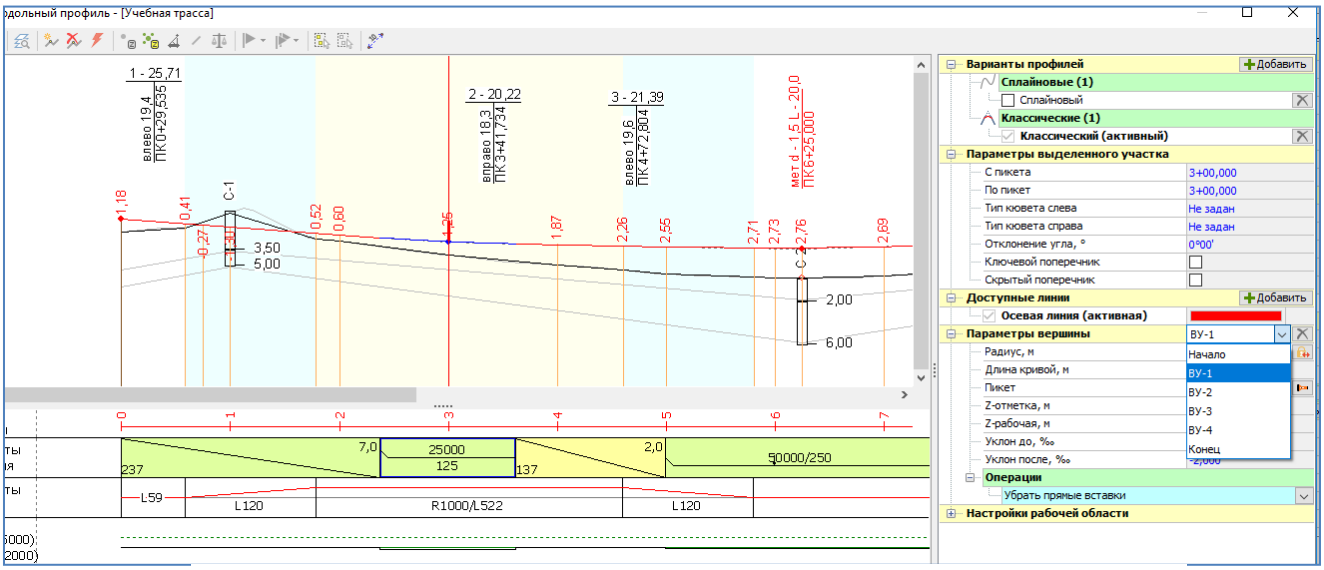


Рисунок 1 – Выделение вершины с помощью **Окна свойств**

Проектная линия станет отрезком, соединяющим точки начала и конца трассы в руководящих отметках.

3. Построение проектной линии продольного профиля классическим методом

3.1. Построение ломаной линии. Добавление вершин перелома проектной линии. В проектную линию необходимо добавить вершины ломаной линии, которые следует размещать

на возвышенностях, понижениях рельефа и на контрольных точках. Для этого нажимают кнопку  «**Добавить вершину»** и щёлкают ЛКМ. Новая вершина сразу становится выделенной (отображается синим цветом). В окне свойств в поле «**Параметры вершины** > **Пикет»** необходимо уточнить пикетное положение вершины, т.е. округлить с точностью до целых знаков, например, **ПК 3+45**. Аналогичным образом создают и остальные вершины.

3.2. Удаление вершин. Если при построении ломаного хода образовались лишние вершины, то их нужно удалить. Для этого необходимо в списке вершин (в Инспекторе объектов) последовательно просмотреть все вершины на проектной линии с помощью команды «**Подсветить**», изображаемой в виде фонарика (рис. 2) выделить вершину (или найти в списке – в инспекторе объектов в графе «**Параметры вершин**», см. рис. 1 и 2) и нажать кнопку: **«Удалить выделенную вершину»** **.**



Рисунок 2 – Выделение вершины с помощью **Окна свойств**

3.3. Задание уклонов ломаного хода. В методе тангенсов уклоны задают целыми числами, поэтому необходимо откорректировать их значение. *Корректировку уклонов следует производить при нулевых значениях радиусов вертикальных кривых.* Если радиусы будут ненулевые, то прямолинейные отрезки ломаного хода будут являться касательными к дугам вертикальных кривых, и изменение уклона ломаной приведёт к изменению уклона касательной, что, в свою очередь, автоматически изменит радиус вертикальной кривой, отметки и другие параметры проектной линии. Значение радиусов кривых обнуляют с помощью окна свойств для выделенной вершины в строке **«Параметры вершины > Радиус, м»** (рис. 1).

Корректировку уклонов удобно вести последовательно от начального пикета трассы. Сначала курсором мыши в **Окне свойств** выбирают вершину «**Начало трассы».** Следует убедиться, что рабочая отметка на ПК 0+00 соответствует вычисленному значению руководящей отметки. Если она оказалась изменённой, то в инспекторе объектов в окошке «**Z-рабочая, м**» проставляют требуемое значение, например, 1,18 м. После этого заполняют графу «**Уклон после»**. В примере, показанном на рис. 1, в районе ПК 1+00 трасса проходит в выемке, поэтому уклон линии должен быть не меньше 5‰.

Затем корректируют уклон второго отрезка ломаного хода, т.е. в **Окне свойств** выбирают вершину ВУ-1 и корректируют уклон в поле «**Уклон после»**. Аналогично поступают с остальными вершинами. На последнем отрезке значение уклона не всегда удаётся сделать целым, иначе проектная линия не пройдёт через контрольную точку конца трассы. Но всё же его стоит округлить с точностью до десятых долей уклона ‰, тогда контрольная точка изменится на 1 см, что является приемлемым. После построения ломаного хода следует сохранить результаты.

4. Ведомость элементов продольного профиля

Информация об элементах продольного профиля записывается в специальную ведомость – «**Ведомость элементов продольного профиля**». Закрывают окно продольного профиля и переходят на закладку в главном меню программы «**Чертежи и ведомости**». В группе параметров «**Ведомости**» щёлкают ЛКМ по пиктограмме «**Продольный профиль**» и выбирают пункт «**Ведомость элементов продольного профиля**». В открывшемся окне настраивают точность представления чисел и знаков. Следует задать для уклонов, пикетов и расстояний число **3**.

В жёлтой рамке появится ведомость элементов продольного профиля. Ещё раз нужно проанализировать её, чтобы убедиться, что уклоны назначены с заявленной точностью (т.е. после запятой значения уклонов имеют 0 или максимум 1 ненулевых цифр, например: 2,000 ‰ или 8,700 ‰, как это показано на рис. 3). В противном случае нужно возвратиться в проектное окно продольного профиля и уточнить значения уклонов.

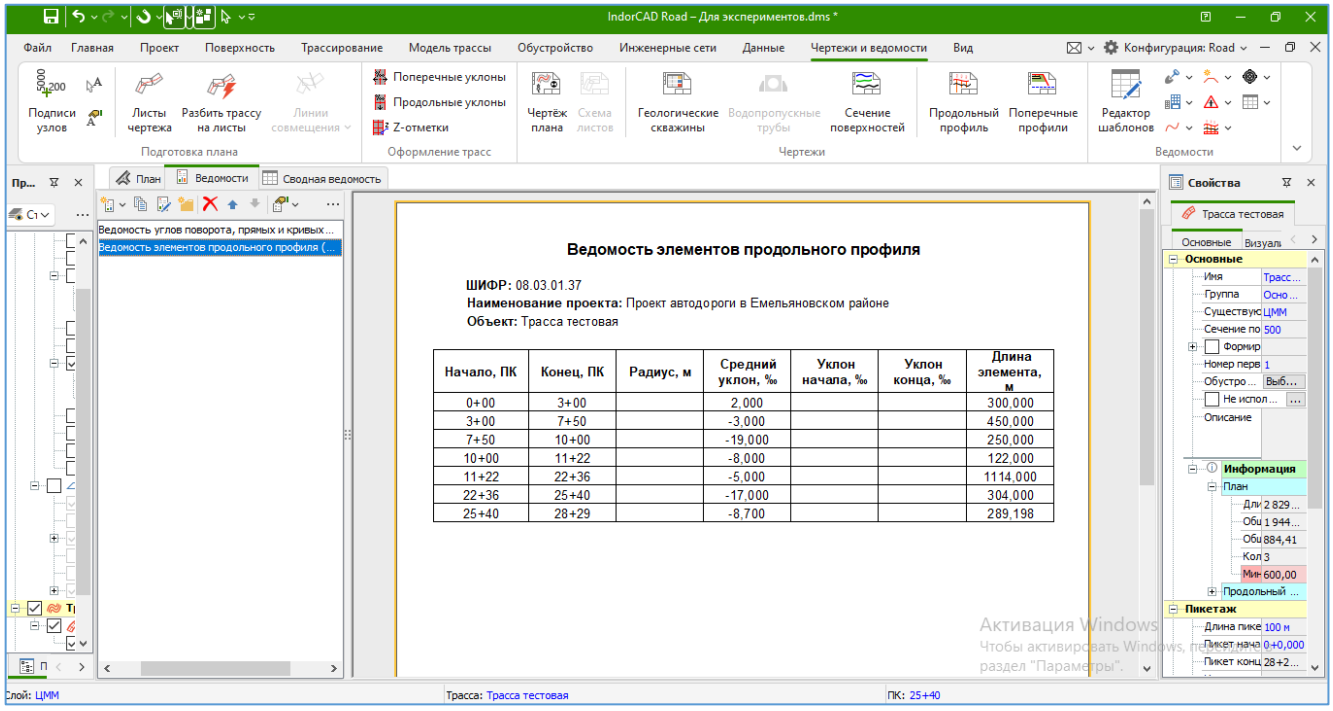


Рисунок 3 – Ведомость элементов продольного профиля на закладке «**Ведомости**»

Далее в строке с командами выбирают команду «**Поместить в проект**». В рабочем окне программы на закладке **«Ведомости»** в дополнение к «Ведомости углов поворота, прямых и кривых» появится «Ведомость элементов продольного профиля» (рис. 3). В строке команд на закладке **«Ведомости»** выбирают команду «**Экспортировать выбранную ведомость в файл**» (пиктограмма с изображением дискеты). В открывшемся окне выбирают на компьютере папку для хранения ведомости. Программа сохранит файл в формате pdf под названием «*Ведомость элементов продольного профиля*». Проектировщик может переименовать его на своё усмотрение.

5. Вписывание вертикальных кривых

Радиусы вертикальных кривых вписывают в поле «**Радиус, м».** Чем больше радиус вертикальной кривой, тем более плавной будет проектная линия, но большой радиус не должен приводить к излишним объёмам земляных работ. При выборе значений радиусов руководствуются нормами СП 34.13330.2021 и минимально допустимыми значениями радиусов вертикальных кривых из табл. «Основные технические показатели проектируемой дороги» в пояснительной записке к курсовому проектированию.

Сначала рекомендуется попробовать вписать минимально допустимые значения радиусов выпуклых и вогнутых кривых. Если ломаная линия построена неудачно, т.е. маленькое расстояние между вершинами, то программа автоматически уменьшит радиусы кривых. Поэтому нужно обнулить все значения радиусов вертикальных кривых, вписанных во все вершины, и отредактировать положение вершин. Возможно, потребуется удалить какие-то промежуточные вершины и переместить оставшиеся на большее расстояние.

Далее, снова вписывают вертикальные кривые с минимальными радиусами. Если длина кривой окажется меньше предельной величины (т.е. длина выпуклой кривой – менее 300 м; вогнутой – менее 100 м), то следует увеличить значение радиуса кривой.

После вписывания вертикальных кривых ведомость элементов продольного профиля изменится (см. рис. 4).

Ведомость элементов продольного профиля

ШИФР: 08.03.01.37
Наименование проекта: Проект автодороги в Емельяновском районе
Объект: Трасса тестовая

Начало, ПК	Конец, ПК	Радиус, м	Средний уклон, ‰	Уклон начала, ‰	Уклон конца, ‰	Длина элемента, м
0+00	1+50		2,000			150,000
1+50	4+50	60000,000		2,000	-3,000	300,000
4+50	5+98		-3,000			148,000
5+98	9+02	19000,000		-3,000	-19,000	304,000
9+02	9+45		-19,000			43,000
9+45	10+55	-10000,000		-19,000	-8,000	110,000
10+55	10+71		-8,000			16,000
10+71	11+73	-34000,000		-8,000	-5,000	102,000
11+73	20+86		-5,000			913,000
20+86	23+86	25000,000		-5,000	-17,000	300,000
23+86	24+86		-17,000			100,050
24+86	25+94	-13000,000		-17,000	-8,700	107,900
25+94	28+29		-8,700			235,248

Рисунок 4 – Ведомость элементов продольного профиля после вписывания кривых

6. Анализ полученного профиля

Анализ производят по строке сетки «**Элементы профиля**». В этой строке для прямых участков профиля подписан уклон и длина; для вертикальных кривых приведены длина кривой,

радиус и точка, в которой уклон касательной равен 0 ‰. Элементы профиля в графике отображаются на цветном фоне, который «подсказывает», соблюдены ли нормы проектирования:

- зелёный фон означает, что ограничения не нарушены;
- красный фон означает, что радиус вертикальной кривой менее допустимого или уклон прямого участка более допустимого;
- жёлтый фон означает, что выбрано неудачное сочетание элементов.

Следует убедиться, что в построенном продольном профиле дороги:

- уклоны не превышают максимально допустимых значений;
- уклоны продольного профиля **в выемке** и **на мосту** – не меньше 5‰ (Это требование должно обеспечивать продольный водоотвод на участках выемок, т.к. там уклон дна кювета должен повторять уклон проектной линии. Также на участках дороги с бортовым камнем, т.е. на мостах и городских улицах. На участках насыпей дорог общего пользования это требование не обязано соблюдаться, потому что отвод воды обеспечивается за счёт поперечного уклона проезжей части.);
- длина выемки не превышает 500 м;
- выемки достаточно глубокие, т.е. максимальные рабочие отметки в выемке должны превышать 1 м (иначе выемка будет снегозаносимой);
- высота насыпей на основном протяжении приближена к руководящим отметкам. На участках высоких насыпей имеют место завышенные объёмы земляных работ, на участках низких насыпей – дорога может быть снегозаносимой;
- соблюдено прохождение проектной линии через контрольные точки.

Если все требования выполнены, то построение проектной линии продольного профиля можно считать законченным.

На последнем этапе работы, если вершины ломаного хода не лежат на полных пикетах, то для них следует построить дополнительные поперечные профили, как это делалось при построении поперечных створов на контрольных точках (на трубе и перекрёстке). Это необходимо для того, чтобы знать рабочую отметку в вершине ломаного хода.

7. Обозначения проектной линии в сетке чертежа продольного профиля

Проектная линия оформляется в соответствии с ГОСТ 21.701-2013 [6]. Рассмотрим её элементы на примере проектной линии, приведённой на рис. 5. Проектная линия состоит из нескольких элементов: прямолинейных вставок и вертикальных круговых кривых (или *квадратических парабол*). Данные об этих элементах представлены в строке сетки чертежа «**Уклон, ‰, вертикальная кривая, м**». Проанализируем их.

Первый элемент представляет собой прямолинейный участок с уклоном вниз. Косая черта показывает направление уклона. Над ней записана величина уклона 15 ‰, под чертой – длина элемента 744 м. На ПК 7+44 он сопрягается со вторым элементом и на границе элементов плюсовая точка (число 44) пишется боком.

Второй элемент (с ПК 7+44 по ПК 10+56) представляет собой *вогнутую*, т.е. выпуклостью вниз, вертикальную кривую радиуса R = 800 м. Вогнутость обозначена наклонными скобками. В точке сопряжения двух элементов (на ПК 7+44) линия с уклоном 15 ‰ является касательной к этой кривой, о чем говорит число 15 на наклонной скобке. На другой наклонной скобке в конце элемента стоит число 24, т.е. в этой точке уклон касательной к кривой составляет 24 ‰. Записанное боком число 56 говорит о том, что вогнутая кривая заканчивается на ПК

10+56. Длина кривой равна K = 316 м. На обозначении элемента есть ещё один важный символ – стрелка. Она расположена на ПК 8+64, о чём свидетельствует плюсовая точка, записанная боком. По направлению стрелки также можно понять, какого вида вертикальная кривая – вогнутая или выпуклая. У вогнутой кривой стрелка направлена вниз (от центра окружности). Стрелка обозначает *вершину кривой* – точку, в которой уклон касательной равен 0 ‰. Эта точка – очень важная, зная отметку в вершине, находят отметку проектной линии в пределах вогнутой круговой кривой по формуле

$$H = H_{в} + \frac{x^2}{2R}, \quad (1)$$

где $H_{в}$ – проектная отметка в вершине кривой; x – расстояние от вершины до точки, в которой вычисляется отметка H; R – радиус вертикальной кривой.

Третий элемент проектной линии – прямолинейный участок с уклоном 24 ‰ на подъём и длиной 34 м. На ПК 10+90 (плюсовая точка 90, записанная боком) прямолинейный участок сопрягается с *выпуклой*, т.е. выпуклостью вверх, вертикальной кривой радиуса R = 10000 м. Выпуклость обозначена наклонными скобками, направленными по-другому. На наклонной скобке в конце элемента стоит число 18, т.е. в этой точке уклон касательной к кривой составляет 18 ‰. Записанное боком число 10 говорит о том, что выпуклая кривая заканчивается на ПК 15+10. Длина кривой равна K = 316 м. Вершина кривой, обозначаемая стрелкой, расположена на ПК 13+30 (плюсовая точка 30, записанная боком). У выпуклой кривой стрелка направлена вверх (от центра окружности). Отметку проектной линии в пределах выпуклой круговой кривой вычисляют по формуле

$$H = H_{в} - \frac{x^2}{2R}, \quad (2)$$

где $H_{в}$ – проектная отметка в вершине кривой; x – расстояние от вершины до точки, в которой вычисляется отметка H; R – радиус вертикальной кривой.

Шестой элемент проектной линии представляет собой нисходящую дугу вогнутой кривой, сопрягающей два прямолинейных участка с уклонами 18 ‰ и 15 ‰. Он расположен между пикетами ПК 18+10 и ПК 19+90. Радиус кривой R = 60000 м, длина элемента K = 180 м. На данной дуге окружности уклон касательной постепенно изменяется от 18 ‰ до 15 ‰, следовательно, в её пределах отсутствует вершина (точка с нулевым уклоном касательной). Элемент, в пределах которого нет точки с нулевым уклоном касательной, называется *элементом с фиктивной вершиной*. Чтобы вычислить отметку на таком элементе требуется сначала найти положение фиктивной вершины, её отметку, а потом искомую отметку по формулам (1) или (2). Алгоритм расчёта отметок на вертикальных кривых приведён на сайте: **road-project.okis.ru /Мостовые переходы / Курсовая работа / 4.2 Создание проектной линии по методу квадратических парабол**.

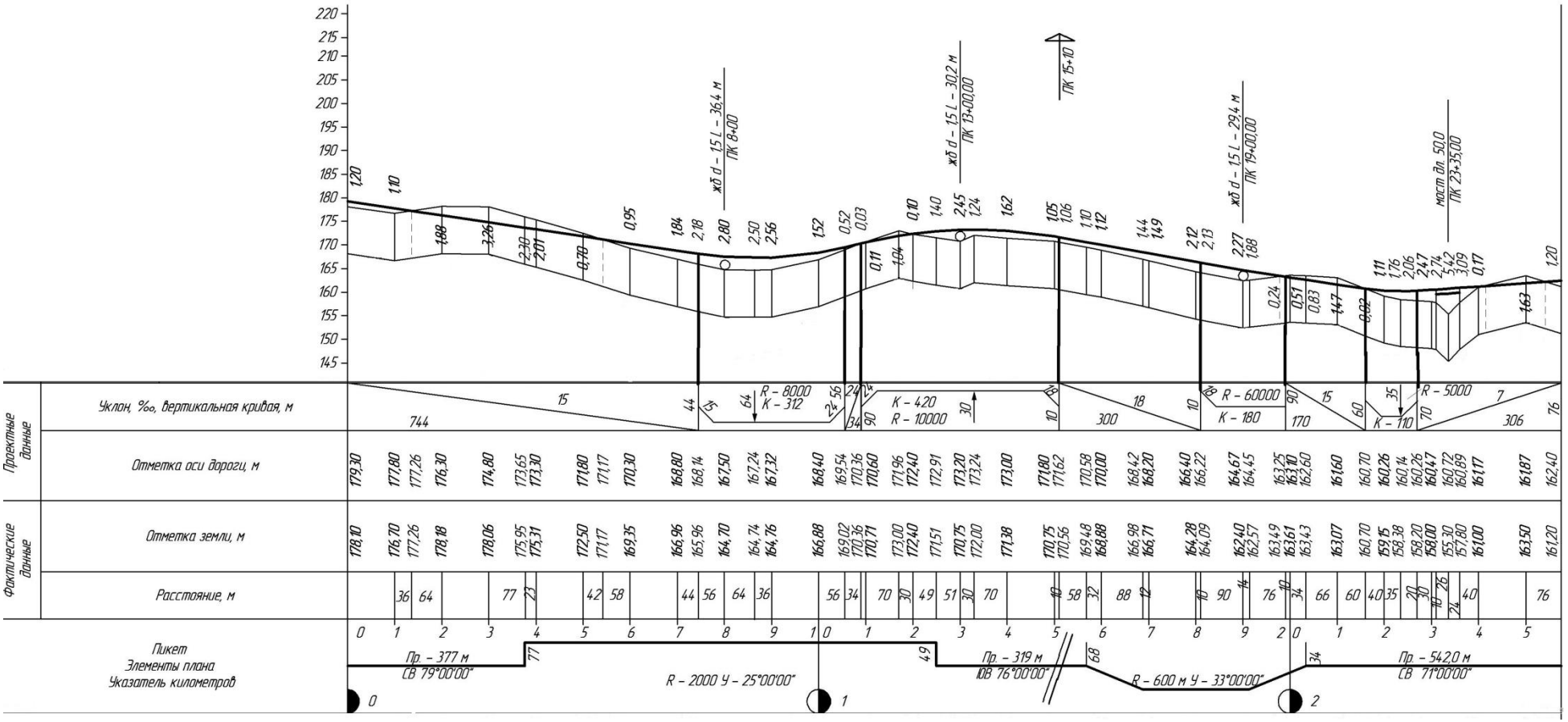


Рисунок 5 – Пример оформления проектной линии

Источники информации

1. Жуков, В.И. 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. Современные технологии в проектировании автомобильных дорог: учебно-методическое пособие / Т.В. Гавриленко, Т.А. Фёдорова – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2024. – 62 с.

3. Федотов, Г.А. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн.1: учебник / Г.А. Федотов, П.И. Поспелов. – М.: Высш. шк., 2009. – 646 с.

4. СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* : дата введения 2021-08-10. – Москва: Минстрой России, 2021. – 99 с.

5. Официальный сайт компании IndorSoft [электронный ресурс]. http://www.indorsoft.ru

6. ГОСТ 21.701-2013 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог. – Москва, Стандартинформ, 2014. – 35 с.