

4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ МЕТОДОМ ТАНГЕНСОВ¹

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

4.1 Цель работы

Продольным профилем автомобильной дороги называют развернутую в плоскости чертежа проекцию оси дороги на вертикальную плоскость. На продольном профиле вычерчивают *линию земли по оси дороги* (черную линию) и *проектную линию* (красную линию) – линию, с высотными отметками по оси проезжей части автомобильной дороги.

Цель работы – научиться проектировать продольный профиль дороги автоматизированным способом в программе IndorCAD/Road 9. Подробное описание программы дано в [2-4]. В результате выполнения данной работы студент должен:

- освоить алгоритм построения продольного профиля дороги методом тангенсов в системе IndorCAD;
- построить проектную линию в соответствии с ограничениями и нормативными требованиями для заданной категории дороги;
- научиться оформлять продольный профиль дороги, построенный в системе автоматизированного проектирования.

В качестве исходных данных используется проект, построенный в предыдущей лабораторной работе.

4.2 Обоснование руководящих отметок и контрольных точек

Перед началом построения проектной линии определяют руководящие отметки и контрольные точки. *Руководящая отметка* необходима для того, чтобы установить оптимальную высоту насыпи, которая обеспечит нормальные условия эксплуатации земляного полотна. На открытых участках местности с обеспеченным стоком воды руководящую отметку определяют из условия снегонезаносимости дороги. Схема к её определению показана на рис. 4.1.

Руководящая отметка определяется по формуле

$$h_{\text{рук}} = h_{\text{сн}} + \Delta h + i_{\text{об}} \cdot b_2 + i_{\text{поп}} \frac{b_1}{2}, \quad (4.1)$$

где $h_{\text{сн}}$ – расчетная толщина снегового покрова 5%-ой обеспеченности; Δh – возвышение бровки насыпи над уровнем снежного покрова, зависящее от категории автомобильной дороги; b_1 – ширина покрытия (суммарная ширина проезжей части и

¹Текст излагается по учебно-методическому пособию [1].

2-х краевых полос), b_2 – ширина обочины за вычетом краевой полосы; $i_{об}$ – поперечный уклон неукрепленной части обочины; $i_{поп}$ – поперечный уклон покрытия.

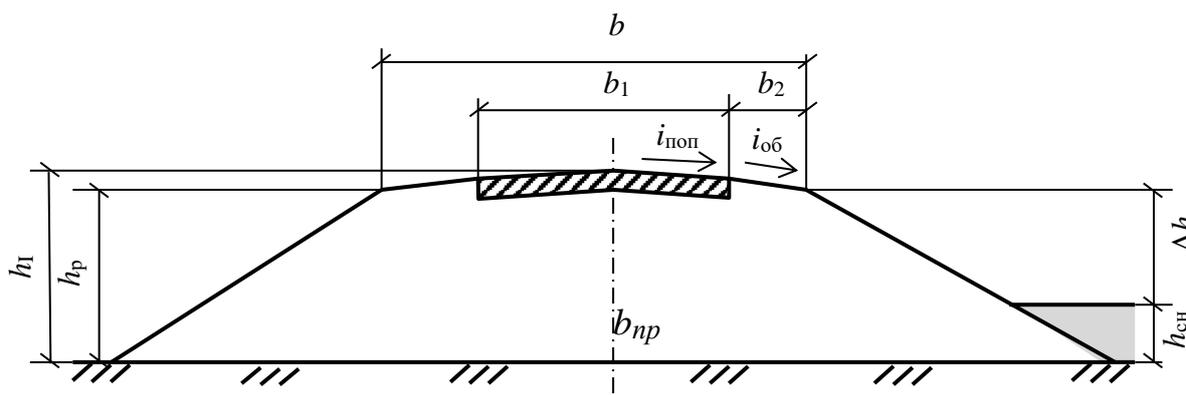


Рисунок 4.1 – Схема к определению руководящей отметки из условия снегонезаносимости дороги

Для дороги 4-й категории $b_1 = 7$ м; $b_2 = 1,5$ м, $\Delta h = 0,5$ м. Поперечные уклоны покрытия и обочин зависят от их вида. Для асфальтобетонного покрытия $i_{поп} = 20$ ‰, для обочин $i_{об} = 40$ ‰. При высоте снегового покрова 5%-ой обеспеченности $h_{сн} = 0,55$ м руководящая отметка для дороги IV категории с асфальтобетонным покрытием составит:

$$h_{рук} = 0,55 + 0,5 + 0,04 \cdot 1,5 + 0,02 \cdot \frac{7}{2} = 1,18 \text{ м.} \quad (4.2)$$

К *контрольным точкам* проектной линии относятся следующие: начало и конец трассы; отметки проезжей части мостов и путепроводов; минимальные отметки насыпи над трубами; отметки головки рельса железной дороги и отметки осей проезжих частей существующих автомобильных дорог на пересечениях в одном уровне с проектируемой дорогой. Отметки контрольных точек начала и конца трассы, а также в местах пересечений с дорогами устанавливаются по нивелировочному журналу. При учебном проектировании они принимаются в соответствии с руководящими отметками.

Минимально допустимые отметки над трубами и мостами являются контрольными точками, ограничивающими положение проектной линии снизу. В случае использования распространенных в настоящее время гофрированных металлических труб контрольная отметка определится по формуле

$$h_{тр} = d + \delta + \Delta, \quad (4.3)$$

где d – диаметр трубы, м; δ – толщина стенки трубы, м; Δ – расстояние от верха звена трубы до поверхности дорожного покрытия, равное 0,8 м. Для труб диаметром 1,5 м

$$h_{тр} = d + \delta + \Delta = 1,5 + 0,03 + 0,8 = 2,33 \text{ м.} \quad (4.4)$$

4.3 Разбивка трассы на поперечные профили

4.3.1 Разбивка трассы. Перед построением продольного профиля требуется разбить трассу, т.е. назначить поперечные створы, в которых будут сниматься отметки рельефа и строиться поперечные профили дороги.

Выделяют трассу ЛКМ и активизируют команду **«Трассирование > Выполнить разбивку»**. В открывшемся диалоговом окне следует указать шаг разбивки **100 м** и установить флажок напротив позиции **«На главных точках трассы»**. В этом случае разбивка будет сделана на пикетах и создадутся дополнительные поперечные профили в точках сопряжения элементов плана трассы (прямолинейных сегментов, переходных кривых, круговых вставок и пр.). Задают величину руководящей отметки в соответствии с вычисленным значением 1,18 м. После разбивки трассы на поперечные профили появятся дополнительные линии, моделирующие верх дороги.

Если при разбивке трассы были допущены ошибки (задана неверная руководящая отметка или шаг разбивки), то следует удалить разбивку, воспользовавшись командой **«Трассирование > Удалить разбивку»**. Рекомендуется проверить правильность разбивки до начала проектирования продольного профиля, так как её удаление приведёт к потере результатов проектирования продольного профиля и поперечных профилей трассы.

Помимо созданных поперечных створов требуется создать еще несколько, в которых будут задаваться контрольные точки для проектной линии. К таким точкам относятся точки над трубами и перекрёсток.

4.3.2 Поиск местоположения водопропускной трубы.

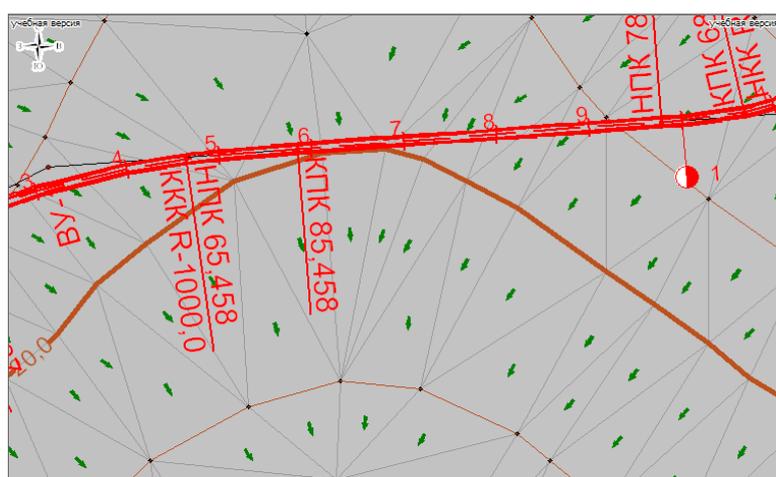


Рисунок 4.2 – Направление стока воды

пикетажное положение трубы, следует проанализировать сток воды на модели (см. рис. 4.2). Следует вызвать Инспектор объектов для объекта **«Триангуляция»**, установить флажок напротив элемента **«Уклоны»** и раскрыть параметры этой ветви. Далее, необходимо установить размер стрелок, для чего нужно:

- раскрыть ветвь **«Размер стрелок»**;
- снять флажок напротив позиции **«Зависит от уклона»**;

- задать размер стрелок – **1,5**.

Из анализа направления стока видно, что поток воды устремляется в район ПК 6+25, следовательно, в этом месте должна быть устроена водопропускная труба и создан дополнительный поперечный профиль.

4.3.3 Задание дополнительных поперечных профилей. Необходимо активировать команду «Трассирование» и найти пиктограмму  «Создание поперечного профиля». Далее, курсором мыши следует указать на трассе примерное положение нового поперечного профиля и щёлкнуть ЛКМ. В появившемся окне нужно уточнить пикет, т.е. ввести значение **6+25**. Построенный створ поперечного профиля подкрасится жёлтым цветом. Это означает, что данный створ сейчас является активным, т.е. будет отображаться в окне поперечного профиля.

Аналогичным образом строят поперечный профиль на **ПК 8+76**, где запланирован перекрёсток. Новый створ также подкрасится жёлтым цветом, т.е. теперь он стал активным.

4.4 Настройка окна продольного профиля

В данной лабораторной работе требуется построить проектную линию *методом тангенсов*. Его суть заключается в том, что сначала строят ломаную линию, а затем в её углы вписывают вертикальные кривые и вносят коррективы в проектные и рабочие отметки за счет кривизны.

На значения уклонов накладывают ограничения:

- уклоны не должны превышать максимально допустимые для заданной категории дороги (для IV категории – не более 60‰);
- в целях обеспечения отвода поверхностных вод от земляного полотна, уклоны проектной линии в местах выемок, на мостах и путепроводах должны быть не менее 5 ‰;
- длина выемок не должна превышать 500 м;
- в условиях образования гололедицы на проезжей части искусственного сооружения (моста или путепровода) уклоны не должны превышать 30‰. Также необходимо, чтобы радиусы вертикальных кривых были не менее допустимых (см. табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Минимально допустимые значения параметров для дороги IV категории

Параметр	Единица измерения	Значение
Минимальный продольный уклон	‰	0
Максимальный продольный уклон	‰	60
Минимальный выпуклый радиус	м	5000
Минимальный вогнутый радиус	м	2000

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

На первом этапе построения наносят на чертеж все контрольные точки. Далее намечают вершины ломаной линии, которые следует размещать на возвышенностях и понижениях рельефа.

4.4.1 Вызов окна продольного профиля и настройка изображения

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

4.4.2. Настройка поля чертежа. На чертежах продольного профиля линейно-протяжённых объектов горизонтальный и вертикальный масштабы отличаются в 10 раз, поэтому 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 щелкнуть ПКМ по полю окна с чертежом продольного профиля и в появившемся окне убрать флажок напротив позиции «**Интерполированные отметки**».

4.4.3 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.

4.4.4 Выбор метода построения проектной линии продольного профиля. Выбор метода построения проектной линии выбирают с помощью инспектора продольного профиля. На ветке «**Варианты профилей**» следует нажать графическую кнопку <+ **Добавить**> и выбрать «**Новый профиль / Классический (пустой)**». Проектная линия станет отрезком, соединяющим точки начала и конца трассы в руководящих отметках.

4.5 Вычисление абсолютных отметок контрольных точек

На следующем этапе необходимо определить абсолютные отметки в контрольных точках для проектной линии, т.е. к отметкам земли следует прибавить отметки, вычисленные в выражениях (4.2) и (4.4).

Начало трассы $H_{нт} = H_3 + h_{рук} = 24,25 + 1,18 = 25,43$ м.

Отметка над трубой $H_{тр} = H_3 + h_{тр} = 20,08 + 2,33 = 22,41$ м.

Пересечение с дорогой в одном уровне $H_{дор} = 21,82 + 1,73 = 23,55$ м.

Конец трассы $H_{кт} = H_3 + h_{рук} = 29,49 + 1,18 = 30,67$ м.

Найденные отметки помещают в ведомость контрольных точек (табл. 4.2).

Таблица 4.2 – Ведомость контрольных точек

№ точки	Название точки	Пикет	Отметка, м		Положение проектной линии
			земли	проектной линии	
1	НТ	0+00	24,25	25,43	проходит через точку
2	Труба	6+25	20,08	не менее 22,41	не ниже точки
3	Перекресток	8+76	21,82	23,55	проходит через точку
4	КТ	16+79,6	29,49	30,67	проходит через точку

4.6 Построение проектной линии продольного профиля

4.6.1 Построение ломаной линии. Добавление вершин перелома проектной линии. В проектную линию необходимо добавить вершины, пикеты которых приведены в табл. 4.3. Для этого нажимают кнопку  «Добавить вершину» и щёлкают ЛКМ на проектной линии профиля в районе ПК 3+00. Новая вершина сразу становится выделенной (отображается синим цветом). В инспекторе объектов в поле «**Параметры вершины / Пикет**» необходимо уточнить пикетное положение вершины. Аналогичным образом создают и остальные вершины.

Таблица 4.3 – Пикеты вершин проектной линии продольного профиля

Вершина	Пикет
ВУ 1	3+00
ВУ 2	6+25
ВУ 3	8+76
ВУ 4	13+00

4.6.2 Удаление вершин. Если при построении ломаного хода образовались лишние вершины, то их нужно удалить. Для этого необходимо выделить вершину (или найти в списке – в инспекторе объектов в графе «Параметры вершин», см. рис.

4.3) и нажать кнопку:  «Удалить выделенную вершину».

4.6.3 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 инспектора объектов для выделенной вершины в строке «**Параметры вершины / Радиус, м**» (рис. 4.3).

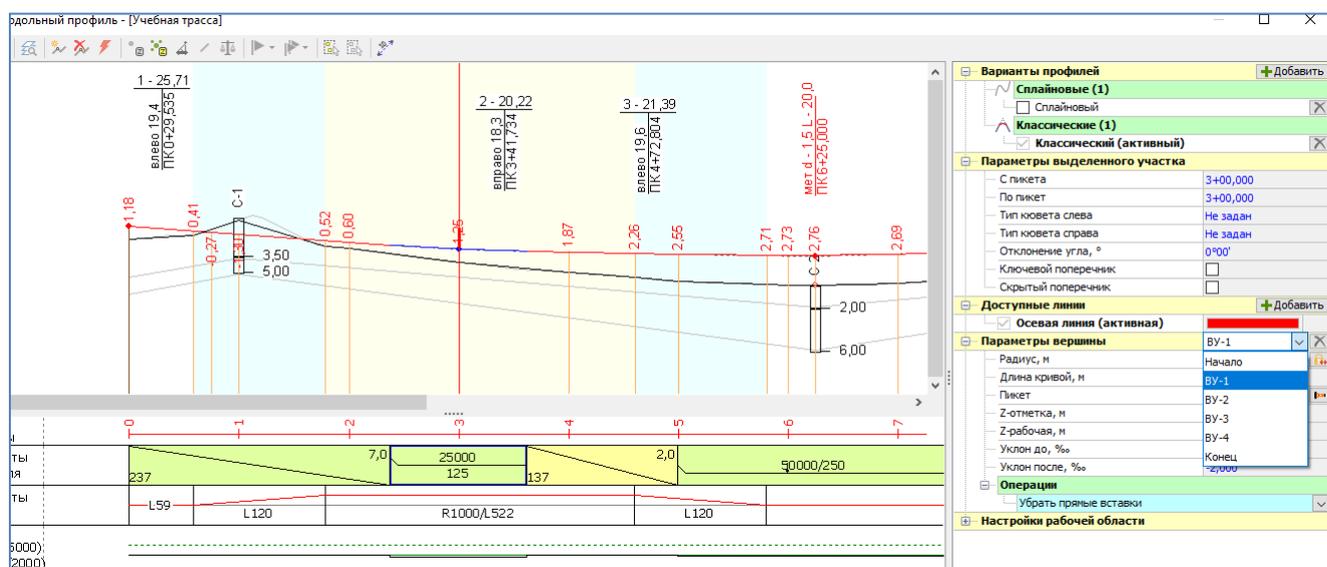


Рисунок 4.3 – Выделение вершины с помощью Инспектора объектов

Корректировку уклонов удобно вести последовательно от начального пикета трассы. Сначала курсором мыши в Инспекторе объектов выбирают вершину «**Начало трассы**». Следует убедиться, что рабочая отметка на ПК 0+00 соответствует вычисленному значению руководящей отметки **1,18 м**. Если она оказалась изменённой, то в инспекторе объектов в окошке «**Z-рабочая, м**» проставляют значение **1,18 м**. После этого заполняют графу «**Уклон после**». В районе ПК 1+00 трасса проходит в выемке, поэтому уклон линии должен быть не меньше 5%. Согласно таблице 4.4 необходимо ввести отрицательный уклон **-7%**. Знак «**-**» означает, что линия пойдёт на спуск (см рис. 4.3).

Затем корректируют уклон второго отрезка ломаного хода, т.е. выделяют вершину на ПК 3+00 (ВУ-1) и корректируют уклон в поле «**Уклон после**» в соответствии со значением уклона из табл. 4.4. Аналогично поступают с вершинами ВУ 3 и ВУ 4. На последнем отрезке значение уклона не удастся сделать целым, иначе

проектная линия не пройдет через контрольную точку конца трассы. Но всё же его стоит округлить до значения 6,8‰, тогда контрольная точка изменится на 1 см, что является приемлемым. После построения ломаного хода следует сохранить результаты.

Таблица 4.4 – Данные для построения ломаного хода проектной линии

Вершина	Пикет	Уклон после, ‰	Вид точки
НТ	0+00	-7	Начало трассы
ВУ 1	3+00	-2	Дополнительная точка для построения ломаного хода
ВУ 2	6+25	3	Труба
ВУ 3	8+76	11	Перекресток
ВУ 4	13+00	6,8	Дополнительная точка для построения ломаного хода
КТ	16+79,6		Конец трассы

4.6.4 Вписывание вертикальных кривых. Радиусы вертикальных кривых вписывают в поле «**Радиус, м**» в соответствии с данными табл. 4.5.

Таблица 4.5 – Данные для построения вертикальных кривых проектной линии

Вершина	Пикет	Уклон после, ‰	Радиус, м	Вид точки
НТ	0+00	-7		Начало трассы
ВУ 1	3+00	-2	25000	Дополнительная точка ломаного хода
ВУ 2	6+25	3	50000	Труба
ВУ 3	8+76	11	15000	Перекресток
ВУ 4	13+00	6,8	100000	Дополнительная точка ломаного хода
КТ	16+79,6			Конец трассы

В результате построения геометрические характеристики профиля должны получиться такие, как в табл. 4.6. Построенный профиль показан на рис 4.4.

4.6.5 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 кривой менее допустимого или уклон прямого участка более допустимого
- жёлтый фон означает, что выбрано неудачное сочетание элементов.

Таблица 4.6 – Геометрические характеристики проектной линии

Вершина	Пикет	Уклон после, ‰	Радиус, м	Длина кривой, м	Вид точки
НТ	0+00	-7			Начало трассы
ВУ 1	3+00	-2	25000	125	Дополнительная точка ломаного хода
ВУ 2	6+25	3	50000	250	Труба
ВУ 3	8+76	11	15000	120	Перекресток
ВУ 4	13+00	6,8	100000	420	Дополнительная точка ломаного хода
КТ	16+79,6				Конец трассы

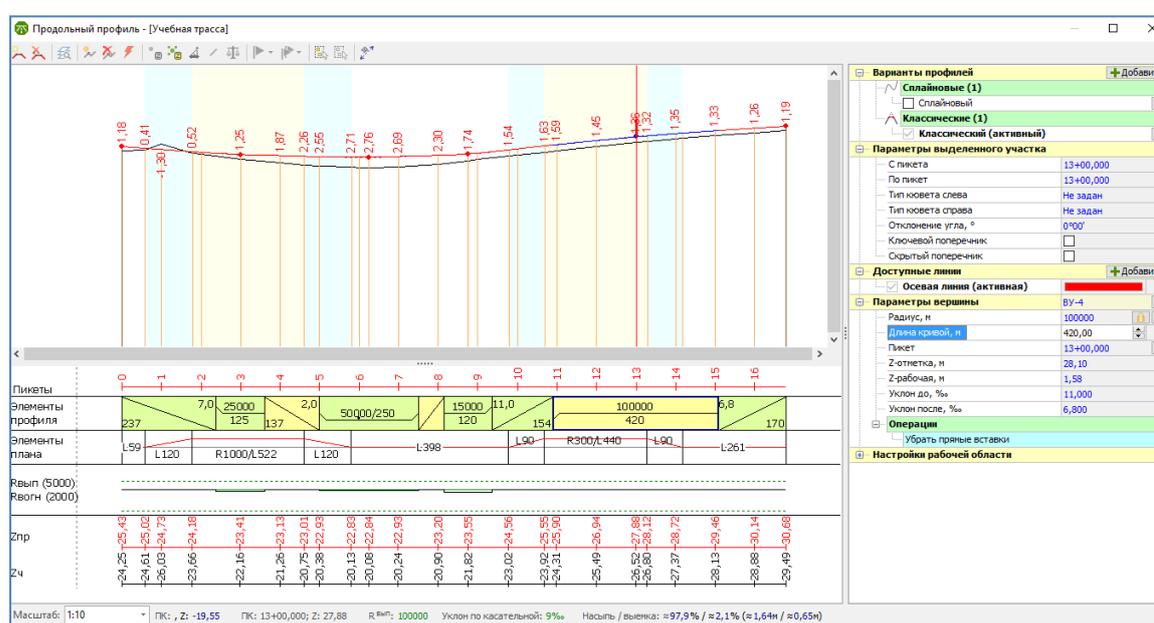


Рисунок 4.4 – Проектная линия продольного профиля

Источники информации

1. Современные технологии в проектировании автомобильных дорог: учебно-методическое пособие / Т.В. Гавриленко, Т.А. Фёдорова – Изд-во СФУ, 2016 (в печати).

2. Система проектирования IndorCAD. Построение, обработка и анализ цифровой модели местности: Руководство пользователя / И.В. Кривых, В.Н. Бойков, Д.А. Петренко, А.В. Скворцов, Н.С. Мирза. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2008. – 300 с.

3. Система проектирования IndorCAD. Проектирование автомобильных дорог: Руководство пользователя / И.В. Кривых, В.Н. Бойков, Д.А. Петренко, А.В. Скворцов, Н.С. Мирза, А.В. Перфильев – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2008. – 250 с.

4. Официальный сайт компании IndorSoft<http://www.indorsoft.ru> [электронный ресурс].
5. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. – М., 2012. – 110 с.
6. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение / А.В. Скворцов. – Томск: Изд-во Томского ун-та. – 2002. – 128 с.
7. 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.
8. 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.
9. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.
10. ГОСТ 21. 701-2013 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог. – Москва, Стандартинформ, 2014. – 35 с.