

Министерство науки
и высшего образования
Российской Федерации

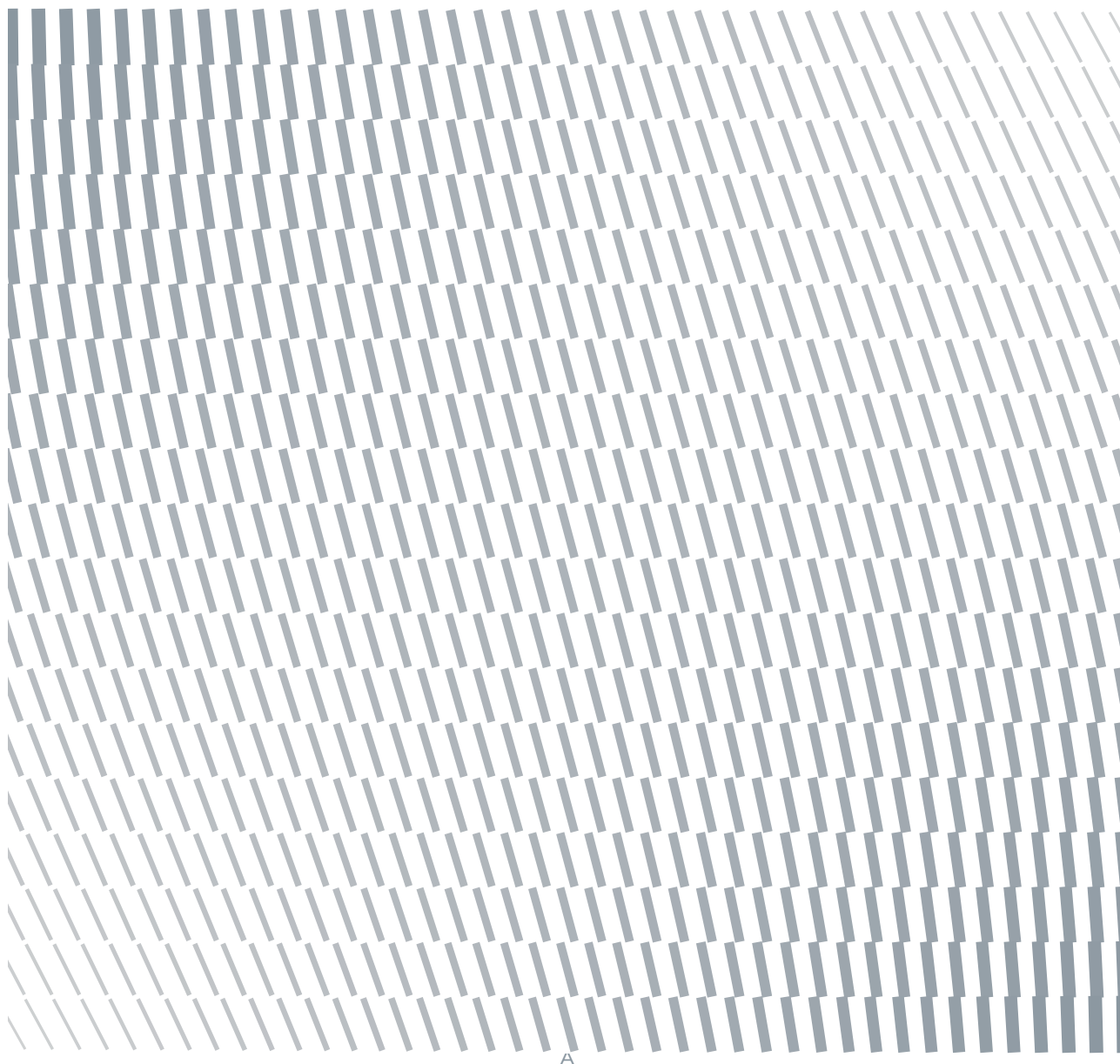
Московский
государственный
университет геодезии
и картографии
(МИИГАиК)

Д.А. Кузнецов, Д.А. Морозов,
С.М. Павлов

Технологии автоматизированной обработки геодезических измерений

методические указания по выполнению
контрольной работы по направлению подготовки
21.05.01 «Прикладная геодезия»
заочная форма обучения

МОСКВА 2024



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК)

Д.А. Кузнецов, Д.А. Морозов, С.М. Павлов

Технологии автоматизированной обработки геодезических измерений

методические указания по выполнению контрольной работы
по направлению подготовки 21.05.01 «Прикладная геодезия»
специализация «Инженерно-геодезическое обеспечение строительства
и эксплуатации объектов нефтегазового и энергетического комплексов»
заочная форма обучения

МИИГАиК
Москва
2024

УДК 528.02
ББК 26.110
К89

Рецензенты:

д-р пед. наук, доцент **М.В. Литвиненко** (МИИГАиК)

Кузнецов, Дмитрий Александрович

К89 Технологии автоматизированной обработки геодезических измерений /
Д.А. Кузнецов, Д.А. Морозов, С.М. Павлов: методические указания
по выполнению контрольной работы по направлению подготовки 21.05.01
«Прикладная геодезия» специализация «Инженерно-геодезическое обеспечение
строительства и эксплуатации объектов нефтегазового и энергетического
комплексов», заочная форма обучения. — Москва : МИИГАиК, 2024. — 73 с. : ил.

В пособии изложены методические указания по выполнению контрольной работы для студентов заочной формы обучения по специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия» специализация «Инженерно-геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации объектов нефтегазового и энергетического комплексов».

УДК 528.02
ББК 26.110

Электронное учебное издание

Кузнецов Дмитрий Александрович, Морозов Дмитрий Андреевич, Павлов Семен Михайлович
Технологии автоматизированной обработки геодезических измерений

Публикуется в авторской редакции
Верстка *Е.Д. Журавлева*

Рассмотрено и одобрено на заседании
Редакционно-издательского совета МИИГАиК
2024 г.

Электронная версия учебно-методического пособия размещена
на сайте МИИГАиК www.miigaik.ru

© МИИГАиК, 2024

© Д.А. Кузнецов, Д.А. Морозов, С.М. Павлов, 2024

Содержание

Введение	4
1 Задание для контрольной работы	5
2 Задание №1. Камеральное трассирование	7
2.1 Цель работы	7
2.2 Задачи работы	7
2.3 Исходные данные к работе	7
2.4 Порядок выполнения работы	10
2.5 Инструкция по выполнению работы	28
2.6 Контрольные вопросы к заданию 1	44
3 Задание №2. Создание и использование цифровой модели рельефа для решения инженерно-геодезических задач	45
3.1 Цель работы	45
3.2 Задачи работы	45
3.3 Исходные данные к работе	45
3.4 Порядок выполнения работы	47
3.5 Цифровые модели рельефа	59
3.6 Контрольные вопросы к заданию 2	67
Литература	68
Приложение А	69
Приложение Б	70
Приложение В	72
Приложение Г	73

Введение

Согласно учебному плану для студентов заочной формы обучения по специальности 21.05.01 Прикладная геодезия предусматривается выполнение контрольной работы по курсу «Технологии автоматизированной обработки геодезических измерений», которую студенты выполняют самостоятельно до прибытия на сессию и присылают на проверку.

По результатам самостоятельной учебно-познавательной деятельности учащийся осваивает следующие компетенции:

Знать	Автоматизированные методы выполнения камеральной обработки материалов инженерно-геодезических работ, подготовки и составления технических отчетов о выполненных инженерно-геодезических работах
Уметь	Применять специализированное программное обеспечение для камеральной обработки материалов инженерно-геодезических работ, подготовки и составления технических отчетов о выполненных инженерно-геодезических работах
Владеть	Навыками применения специализированного программного обеспечения для камеральной обработки материалов инженерно-геодезических работ

Порядок допуска к защите контрольной работы во время очных занятий на сессии:

Результат проверки	Действия студента
Работа допущена к защите без исправлений	Сделав исправления в работе, где это указано преподавателем, студент не присылает повторно работу на проверку, а приносит исправленную работу на очные занятия в распечатанном виде для защиты
Работа допущена к защите с исправлениями	
Работа не допущена к защите	Сделав исправления в работе, где это указано преподавателем, студент присылает работу на проверку повторно, до тех пор, пока работа не будет допущена к защите без исправлений или с незначительными исправлениями

1 Задание для контрольной работы

В задании № 1 необходимо выполнить камеральное трассирование и создать продольный и поперечный профиль трассы. По результатам работы составляется отчет.

Состав отчета о выполненной работе должен содержать:

- физико-географическая характеристика района работ;
- план запроектированной трассы;
- таблица рассчитанных элементов круговой кривой;
- оцифрованная поверхность ЦМР;
- продольный профиль трассы;
- конструкция трассы;
- поперечный профиль трассы;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по выполненной работе.

При оформлении продольного и поперечного профиля оформление должно соответствовать ГОСТ 21.701-2013. Примеры приведены в **приложениях А и Б**.

В задании № 2 необходимо создать цифровую модель рельефа и выполнить ряд операций над ней (исправление ошибок горизонталей, удаление водоемов). Кроме того, необходимо выполнить оценку точности ЦМР и сформировать план земляных работ. По результатам выполнения задания необходимо представить в итоговом отчете по выполнению контрольной работы № 1 следующие материалы:

- триангуляционную поверхность с отображенными треугольниками;
- исправленную цифровую модель рельефа с горизонталями в масштабе 1 : 2000 с описанием методов их исправления. Необходимо нанести кресты километровой сетки и удалить водоемы. На ЦМР необходимо нанести кресты километровой сетки. ЦМР оформляется в рамке (пример штампа рамки представлен в **приложении В**);
- расчет оценки точности цифровой модели рельефа и выводы по построенной ЦМР;
- описание создания проектной поверхности по варианту;
- план земляных работ;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по выполненной работе.

Пример титульного листа к контрольной работе представлен в **приложении Г**. Приведенные в тексте отчета по выполнению контрольной работы рисунки и таблицы должны быть пронумерованы и подписаны. Контрольная работа оформляется в **цифровом виде** (в формате .docx, .rtf или .odt).

При оформлении контрольной работы в печатном виде необходимо придерживаться следующих требований:

- шрифт: Times New Roman;
- размер шрифта: 14;
- межстрочный интервал: 1,5;
- абзацный отступ: 1,25;
- отступы перед и после абзаца: 0;
- поля: верхние/нижние: 2 см., левые: 3 см., правые: 1,5 см.;
- выравнивание: по ширине.

2 Задание №1. Камеральное трассирование

2.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Выполнить проектирование трассы линейного объекта.

2.2 ЗАДАЧИ РАБОТЫ

1. Описать краткую физико-географическую характеристику района работ.
2. Загрузить учебную топографическую карту в ПО.
3. Согласно номеру варианта в таблице 1 запроектировать трассу V категории между точками.
4. Рассчитать элементы круговой кривой согласно таблицам 10 и 11.
5. Оцифровать горизонтали топографической карты вблизи запроектированной трассы.
6. Отрисовать ось трассы с помощью функций ПО.
7. Построить с помощью функций ПО переходные и круговые кривые.
8. Выполнить построение продольного профиля трассы с соблюдением необходимого уклона дороги.
9. Выполнить проектирование конструкции дороги.
10. Создать коридор трассы.
11. Создать сечение поперечного профиля дороги.

2.3 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ

Вариант определяется по таблице 1 в соответствии с двумя последними цифрами индивидуального шифра обучающегося. Расположение точек представлено на рисунке 1.

РИС. 1

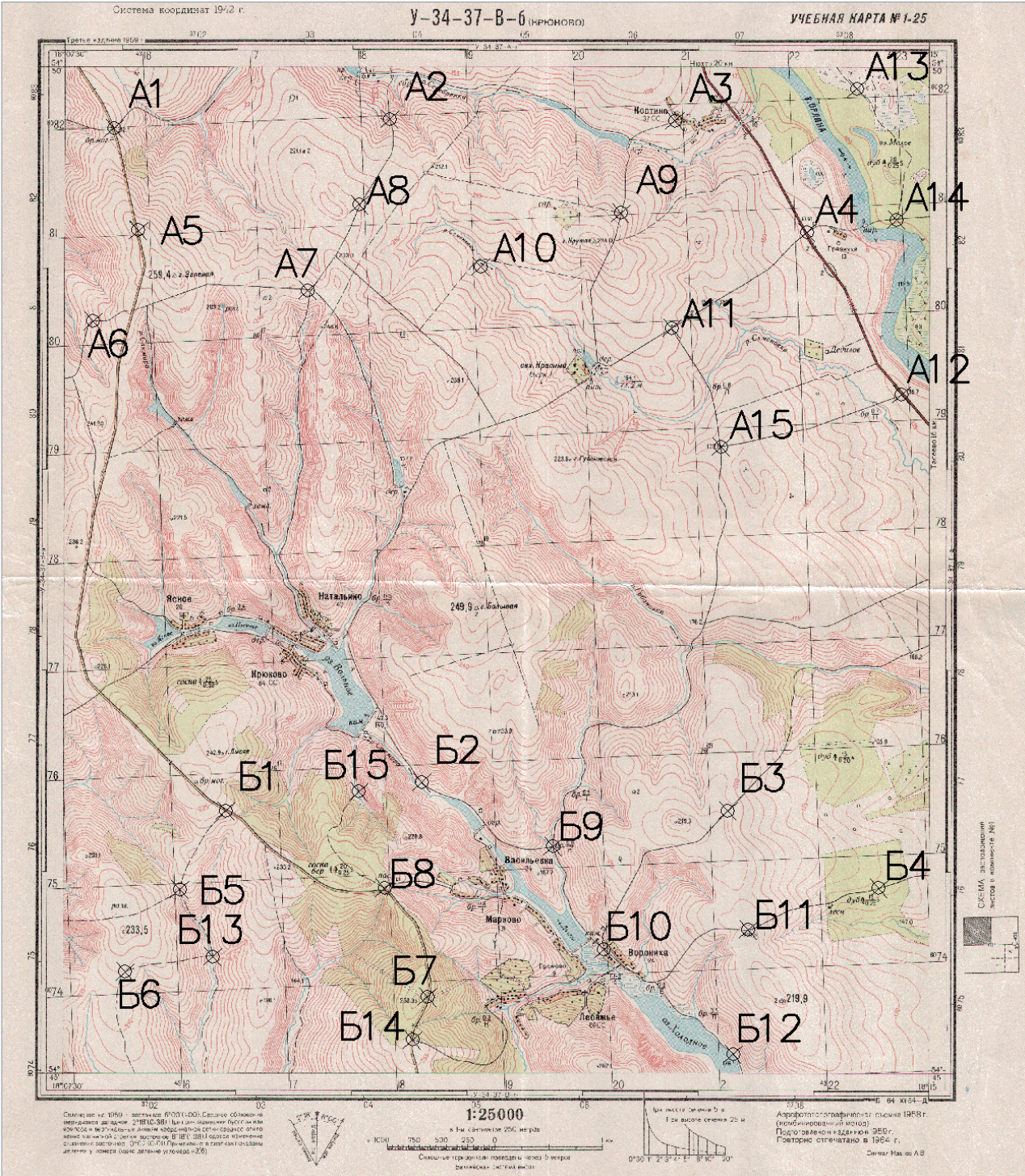


ТАБЛИЦА 1

Варианты для выполнения работы

Номер варианта (последние цифры шифра)	Начало трассы	Конец трассы	Номер варианта (последние цифры шифра)	Начало трассы	Конец трассы
01	A2	B2	51	A9	B9
02	A3	B3	52	A15	B15
03	A10	B10	53	A7	B7
04	A15	B15	54	B5	B11
05	A14	B14	55	A2	B2
06	A13	B13	56	A9	B9
07	A5	B5	57	A8	B8
08	A9	B9	58	A12	B12
09	A5	B5	59	A1	B1
10	A6	A13	60	A15	B15
11	A15	B15	61	B6	B4
12	A4	B4	62	A7	B7
13	A11	B11	63	A5	B5
14	A14	B14	64	A2	B2
15	B6	B4	65	A4	B4
16	A4	B4	66	A12	B12
17	A8	B8	67	A3	B3
18	A14	B14	68	A10	B10
19	A1	B1	69	A1	A14
20	A8	B8	70	A8	B8
21	A6	B6	71	A5	B5
22	A4	B4	72	A13	B13
23	A13	B13	73	A1	B1
24	A7	B7	74	A8	B8
25	A4	B4	75	A4	B4
26	A3	B3	76	A6	B6
27	A7	B7	77	A14	B14
28	A4	B4	78	A10	B10

Номер варианта (последние цифры шифра)	Начало трассы	Конец трассы	Номер варианта (последние цифры шифра)	Начало трассы	Конец трассы
29	A8	B8	79	A6	B6
30	A1	A14	80	A5	B5
31	A5	B5	81	A1	B1
32	A14	B14	82	A1	A14
33	A13	B13	83	A12	B12
34	A6	B6	84	A1	B1
35	A2	B2	85	A5	B5
36	A9	B9	86	B5	B11
37	A4	B4	87	A4	B4
38	B6	B4	88	A11	B11
39	A9	B9	89	A2	B2
40	A6	B6	90	A11	B11
41	A11	B11	91	A10	B10
42	A1	B1	92	A12	B12
43	A13	B13	93	A15	B15
44	A12	B12	94	A13	B13
45	A7	B7	95	A2	B2
46	A13	B13	96	A6	A13
47	A5	B5	97	A14	B14
48	A7	B7	98	A3	B3
49	A5	B5	99	A9	B9
50	A15	B15	100	A6	B12

2.4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.4.1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Линейные сооружения (железные и автомобильные дороги, каналы, трубопроводы и кабельные сети, линии электропередач, связи и пр.) являются объектами массового строительства, все этапы создания которых (изыскания, проектирование и возведение) сопровождаются и обеспечиваются комплексом инженерно- геодезических работ. Существенной является роль геодезических измерений при реконструкции транспортных коммуникаций, при проведении геотехнического мониторинга самих сооружений,

вспомогательных обслуживающих их объектов инфраструктуры и эксплуатируемой территории.

Инженерно-геодезические изыскания и последующее строительное проектирование трасс выполняется по утвержденным в ОИС (Обоснование инвестиций в строительство) направлениям в две или одну стадии в зависимости от типа линейного сооружения:

- на стадии проекта (рабочего проекта) проводится камеральное трассирование вариантов трассы с последующим полевым обследованием намеченных вариантов и, при необходимости, с полевым трассированием; в ходе этих работ из нескольких конкурирующих вариантов выбирается оптимальное положение трассы, устанавливаются технические параметры основных сооружений и стоимость строительства;
- на стадии рабочей документации проводится уточнение всех конструктивных решений и технических параметров, выполняется полевое трассирование с разбивкой и закреплением на местности всех элементов трассы и съемка полосы вдоль трассы для установления ее окончательного положения.

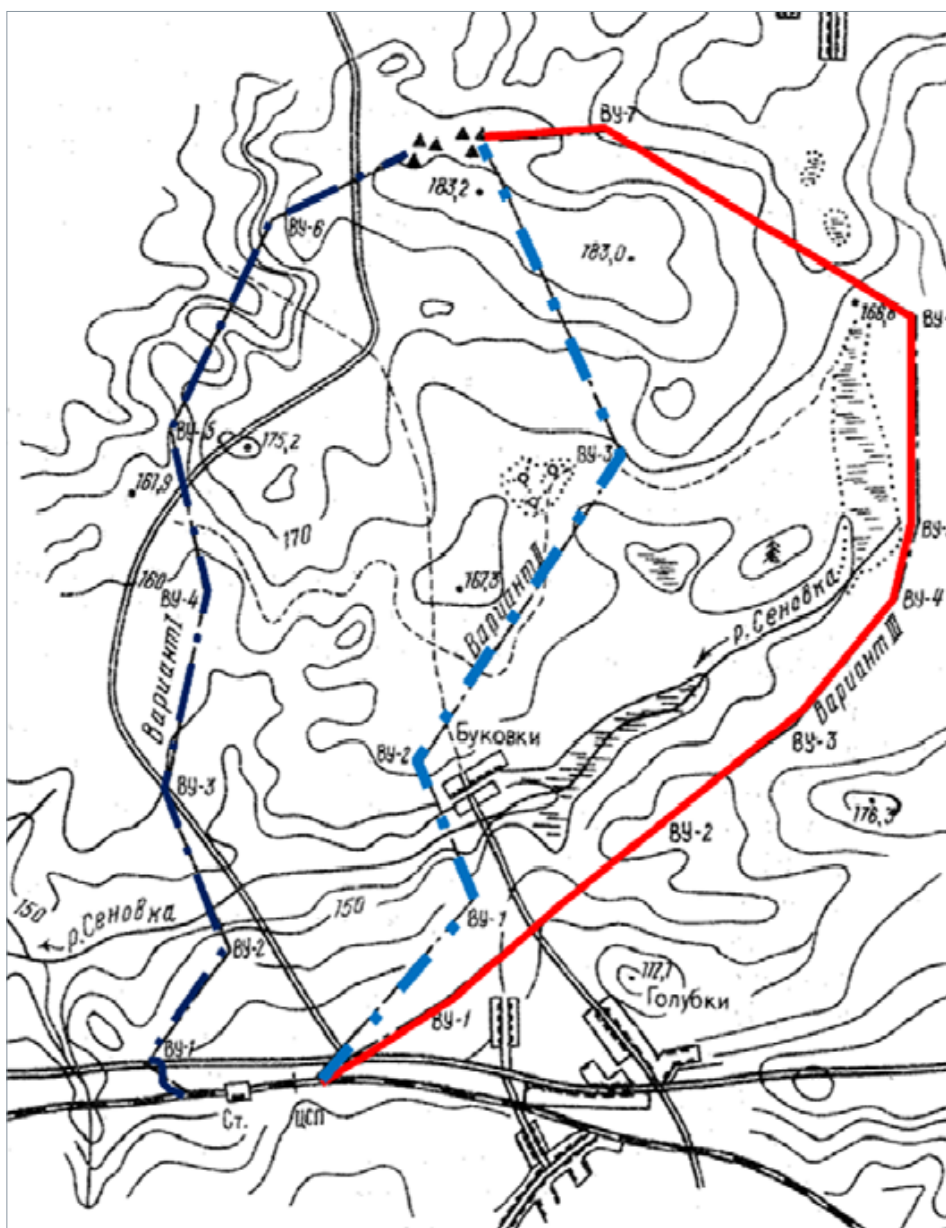
2.4.2 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Положение геометрической оси дороги на местности или ее изображение на карте называется трассой, а процесс трассирования может быть определен как комплекс изыскательских работ по выбору оптимального положения оси линейного сооружения, отвечающего требованиям технических условий. При выполнении этой задачи на топографических картах, инженерных цифровых моделях рельефа или аэрофотоматериалах трассирование носит название камерального, при инструментальной укладке оси сооружения и ее закреплении на местности — полевого.

Основной целью камерального трассирования является поиск различных вариантов трассы для их сравнительной оценки по основным показателям.

На положение трассы влияет целый ряд факторов экономического и социального характера, а также природные условия района строительства (рельеф, гидрография, геологические и гидрогеологические особенности, климат, наличие местных строительных материалов).

Основным ориентирным направлением для выбора варианта трассы является прямая, соединяющая опорные пункты трассы (населенные пункты, пассажирские и грузовые терминалы и др.), прохождение дороги через которые устанавливается техническим заданием. Кроме этого, в ходе сбора и анализа топографической и другой информации о районе могут быть установлены фиксированные точки, определяющие целесообразное положение трассы по условиям: пересечения или обхода различных препятствий (седла на водоразделах, оси мостовых переходов, населенные пункты, озера и заболоченные участки и др.), рельефа или геологии местности. Выбор различных фиксированных точек дает возможность разработать несколько вариантов трассы (рисунок 2).



2.4.3 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Природные условия района строительства во многом определяют объем и назначение инженерных изысканий и характеризуются комплексом природно-климатических факторов с учетом деления территории России и стран СНГ на дорожно-климатические зоны.

Особенности инженерно-геологических условий, от которых зависят трудоемкость строительства, устойчивость и долговечность земляного полотна и искусственных сооружений на дорогах, определяются типом местности по условиям увлажнения верхней толщи грунтов и характеру поверхностного стока, свойствам и условиям залегания грунтов. Детальный анализ природных условий как в подготовительный период, так и при производстве изысканий, в значительной степени повышает качество проектных решений и способствует уменьшению стоимости строительства.

2.4.4 ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Сеть автомобильных дорог является одним из основных факторов, определяющих степень развития данной территории, и обеспечивает административные, хозяйственные и культурные связи между регионами, экономическими районами и отдельными населенными пунктами и предприятиями. В зависимости от хозяйственного и административного значения все автомобильные дороги делятся на пять категорий. Класс дороги относительно их транспортных функций представлен в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2
Функциональный класс дороги

Функциональный класс дороги	Транспортная функция	Соединяют
Основные магистральные автомобильные дороги	Обеспечивают международные и межрегиональные транспортные связи, включают непрерывные маршруты, обеспечивающие передвижения интенсивных транспортных потоков	■ Столицу Российской Федерации г. Москву со столицами иностранных государств; ■ столицу Российской Федерации г. Москву с административными центрами субъектов Российской Федерации; ■ автомобильные дороги, включенные в перечень международных (в соответствии с международными соглашениями Российской Федерации), между собой или являются их частью; ■ автомобильные дороги, являющиеся международными транспортными коридорами, входящие в европейскую (Е) и азиатскую (А) дорожную сеть, или являются их частью
Второстепенные магистральные автомобильные дороги	■ Обеспечивают основные межрегиональные транспортные связи; ■ обеспечивают подъезд от магистральных автомобильных дорог или городов (административных центров субъектов Российской Федерации) к транспортным узлам, имеющим межгосударственное и федеральное значение	■ Административные центры субъектов Российской Федерации, крупные и крупнейшие города между собой; ■ Магистральные автомобильные дороги с транспортными узлами (морские порты, речные порты, аэропорты, железнодорожные станции и другие транспортные объекты), имеющими международное и федеральное значение

Функциональный класс дороги	Транспортная функция	Соединяют
Основные распределительные автомобильные дороги	■ Обеспечивают перераспределение транспортных потоков между магистральными автомобильными дорогами и автомобильными дорогами местного значения; ■ обеспечивают транспортную связь сети магистральных автомобильных дорог с крупными и крупнейшими городами; ■ обеспечивают транспортную связь крупнейших городов Российской Федерации с обслуживающими их транспортными узлами; ■ обеспечивают транспортную связь магистральных автомобильных дорог с объектами тяготения федерального значения	■ Магистральные автомобильные дороги между собой; ■ Магистральные автомобильные дороги с крупными и крупнейшими городами; ■ крупнейшие города Российской Федерации с обслуживающими их транспортными узлами (морскими и речными портами, аэропортами, железнодорожными станциями и другими транспортными объектами); ■ Магистральные автомобильные дороги с объектами тяготения (в том числе специального назначения) федерального значения
Распределительные дороги автомобильные регионального значения (распределительные автомобильные дороги)	■ обеспечивают перераспределение транспортных потоков между магистральными автомобильными дорогами и автомобильными дорогами местного значения; ■ обеспечивают связь магистральных и распределительных автомобильных дорог с административными центрами субъектов Российской Федерации, с административными центрами муниципальных районов, городских округов; ■ обеспечивают транспортную связь административных центров субъектов Российской Федерации с административными центрами муниципальных районов, городских округов; ■ обеспечивают транспортную связь административных центров субъектов Российской Федерации, муниципальных районов, городских округов с транспортными узлами регионального и межмуниципального значения; ■ обеспечивают подъезд к объектам тяготения регионального и межмуниципального значения	■ магистральные автомобильные дороги с распределительными автомобильными дорогами; ■ магистральные автомобильные дороги с местными автомобильными дорогами; ■ распределительные автомобильные дороги с местными автомобильными дорогами; ■ магистральные и распределительные автомобильные дороги с административными центрами субъектов Российской Федерации, с административными центрами муниципальных районов, городских округов; ■ административные центры субъектов Российской Федерации с административными центрами муниципальных районов, городских округов; ■ административные центры субъектов Российской Федерации, муниципальных районов, городских округов с транспортными узлами (аэропортами, морскими, речными портами и другими транспортными объектами) регионального и межмуниципального значения; ■ дорожная сеть общего пользования с объектами тяготения (в том числе специального назначения) регионального и межмуниципального значения
Местные автомобильные дороги	Обеспечивают прочие транспортные связи	

Соответствие функционального класса автомобильных дорог классам и категориям автомобильных дорог, допустимые уровни удобства движения автомобильных дорог представлено в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3

Категория дороги относительно его функционального класса

Функциональный класс	Класс автомобильной дороги	Категория автомобильной дороги
Основные магистральные автомобильные дороги	Автомагистраль	IA
	Обычная дорога	II, III
Второстепенные магистральные автомобильные дороги	Скоростная дорога	IB
	Обычная дорога	IV, II, III
Основные распределительные автомобильные дороги	Скоростная дорога	II, III, IV, IVA-р, IVБ-р
	Обычная дорога	III, IV, IVA-п, IVБ-п, VA, VB
Распределительные автомобильные дороги регионального значения (распределительные автомобильные дороги)	Обычная дорога	II, III, IV, IVA-р, IVБ-р
Местные автомобильные дороги, проезды	Обычная дорога	III, IV, IVA-п, IVБ-п, VA, VB

Расчетные скорости и интенсивность движения транспортных средств приведены в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4

Расчетные скорости дорог

Категория дороги	Интенсивность: приведенных ед. ед./сутки	Расчетные скорости, км/ч	
		основная	на трудных участках
IA	Более 14000	150	120
IB	Более 14000	120	100
IV	Более 14000	100	80
II	6001–14000	120	100
III	2001–6000	100	80
IV	200–2000	80	60
V	До 200	60	40

Для каждой категории дорог установлены определенные технические нормативы, на основе которых проектируют и строят автомобильные дороги, искусственные сооружения и объекты сервиса. К нормативам относят: число полос движения, ширину проезжей части дороги, наименьшие радиусы кривых в плане и продольном профиле, наибольшие продольные уклоны и др.

Все элементы дороги в плане, продольном и поперечном профилях устанавливаются в зависимости от расчетной скорости движения для соответствующей категории трассы. Этим самым обеспечивается удобство и безопасность движения автотранспорта.

2.4.5 ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТРАССЫ И ПРОЕКТА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Поскольку трасса при обходе препятствий, на подъемах на холмы и спусках в понижения местности меняет свое направление в плане и по высоте, она проектируется как пространственная плавная линия с взаимной увязкой элементов плана, продольного и поперечного профилей и окружающего ландшафта.

План автомобильной дороги — это проекция дороги на горизонтальную плоскость, выполненная в уменьшенном масштабе.

Продольный профиль автомобильной дороги — проекция оси дороги или линии, параллельной ей, на вертикальную плоскость, развернутая в плоскости чертежа.

Поперечный профиль автомобильной дороги — это сечение автомобильной дороги вертикальной плоскостью, перпендикулярной ее оси.

2.4.5.1 Требования к проектированию плана трассы на незастроенной территории

Для разработки планов автомобильных дорог в качестве подосновы используют инженерно-топографический план, на котором наносят и показывают:

- ситуацию и рельеф местности;
- «красные» линии;
- координатную сетку;
- геодезические знаки (например, реперы, пункты геодезических сетей местного значения);
- линии бровок земляного полотна и линии кромок проезжей части автомобильной дороги;
- пункты геодезической разбивочной основы (ГРО);
- пикеты и указатели километров;
- начало и конец переходных и круговых кривых;
- числовые значения элементов кривых:
- углы поворота, радиусы, тангенсы, суммарные длины круговых и переходных кривых;
- водоотводные сооружения (например, кюветы, лотки, водосбросы, быстротоки, канавы) с уклоноуказателями и отметками дна в местах перелома продольного профиля;
- откосы насыпей и выемок;
- границы типов дорожной одежды;

- контуры существующих и проектируемых зданий и сооружений (без координационных осей), примыкающих к автомобильной дороге, и их порядковые номера (внутри контура — в правом нижнем углу);
- существующие инженерные коммуникации с указанием высоты надземных и глубины подземных коммуникаций и их обозначения;
- переезды через железнодорожные пути;
- искусственные сооружения;
- транспортные развязки;
- радиусы кривых по кромке либо по оси проезжей части дорог в местах их взаимного пересечения;
- снего- и/или пескозадерживающие защитные устройства (при необходимости);
- защитные лесонасаждения (при необходимости) с учетом требований ГОСТ 21.508;
- порядковые номера (на полках линий-выносок) переездов, искусственных сооружений, транспортных развязок, снегозадерживающих и других сооружений;
- привязки к указателям километров или пикетам пересекаемых автомобильных дорог, железнодорожных путей и инженерных коммуникаций в местах их пересечений с проектируемой автомобильной дорогой (при необходимости);
- границу полосы отвода земель;
- наименование конечных пунктов проектируемых и существующих автомобильных дорог (направление на конечные пункты указывают стрелками);
- указатель направления на север стрелкой с буквой «С» у острия (в левом верхнем углу листа).

Выбор направления трассы необходимо решать на основе конкурирующих вариантов, сравнение которых производится по следующим показателям:

- приведенные затраты;
- стоимость строительства;
- транспортно-эксплуатационные расходы;
- уровень удобства и безопасность движения;
- степень загрязнения окружающей среды.

При проектировании вариантов трассы в пределах полосы варьирования следует соблюдать следующие правила:

- возможность проектирования дороги с соблюдением действующих норм;
- трассирование по кратчайшему направлению;
- учет природных условий региона, а именно климатических, геологических, гидрологических, ситуационных (пересечение крупных водотоков, сложных природных комплексов и т. п.);
- обеспечение удобств и безопасности движения по всей трассе;

- обеспечение требований пространственного и ландшафтного проектирования;
- увязка трассы при прохождении ее вблизи или по населенным пунктам с соответствующими градостроительными планами.

При этом при этом следует избегать:

- кривых малого радиуса в конце затяжных спусков;
- резких поворотов за переломами продольного профиля (особенно на 2-полосных дорогах);
- пересечений в одном уровне в условиях необеспеченной видимости;
- длинных прямых, сопрягаемых в конце кривыми в плане малого радиуса.

При разработке плана трассы необходимо максимально обеспечивать принципы ландшафтного проектирования, позволяющие согласовывать элементы трассы с ландшафтом. Трасса должна быть запроектирована как плавная линия с отсутствием резких изгибов и переломов на основе сочетания прямых, круговых и переходных кривых. Для дорог I и II категории не допускается сочетание продольных уклонов, кривых в плане и продольном профиле с такими величинами, при которых создается впечатление провалов.

Трасса дороги должна следовать крупным формам рельефа, не считаясь с малыми складками местности или извилинам границ леса и других природных комплексов.

В холмистом (пересеченном) рельефе рекомендуется осуществлять трассирование в виде кривых преимущественно большого радиуса с вписыванием их в элементы ситуации и рельефа. При этом целесообразно использование сопрягающихся кривых с введением переходных кривых большой длины и с большими параметрами типа клотоид и сплайнов.

В горной местности необходимо обеспечивать вписывание трассы автомобильной дороги в элементы рельефа с отклонением от них на минимальные расстояния (укладка трассы с максимально допустимым продольным уклоном). В горной и сильно пересеченной местности рекомендуется раздельное трассирование многополосных автомобильных дорог на косогорных участках.

Наибольшая плавность трассы достигается при совпадении вертикальных (в продольном профиле) и горизонтальных кривых. Несовпадение вершин кривых допустимо не более чем на % длины наименьшей из них.

Вогнутые вертикальные кривые продольного профиля допускаются на кривых в плане при условии, что их радиусы не менее чем в 6 раз превышают соответствующие радиусы горизонтальных кривых. Запрещается сопрягать концы кривых в плане с началом выпуклых или вогнутых вертикальных кривых, расположенных на последующих прямых участках.

2.4.5.2 Геометрические элементы плана дороги (плана трассы)

На местных автодорогах трасса формируется прямыми участками и дугами окружности между ними. Каждое изменение направления трассы определяется углом поворота, который измеряют между продолжением предыдущего прямого участка трассы и по новым ее направлениям. Углы поворота последовательно нумеруют вдоль дороги — по ходу трассы.

Геометрические элементы должны обеспечивать пространственную плавность и зрительную ясность автомобильной дороги, гармоничное ее сочетание с окружающим ландшафтом местности, для чего:

- в углы поворота трассы необходимо вписывать кривые постоянной или переменной кривизны, как самостоятельные элементы плана или в сопряжении друг с другом;
- переломы продольного профиля при разработке проектной документации на строительство новых автомобильных дорог I–III категории, а также на реконструкцию автомобильных дорог категории IA и 1Б следует сопрягать вертикальными кривыми постоянной или переменной кривизны независимо от алгебраической разности уклонов сопрягаемых участков (требования к сопряжению переломов продольного профиля в проектной документации на строительство автомобильных дорог IV–V категории и реконструкцию дорог категории IB и II–V, а также капитальный ремонт автомобильных дорог независимо от их категории устанавливаются в национальных стандартах или иных нормативных актах);
- прямолинейные и криволинейные отрезки дороги по протяженности должны быть соразмерны между собой, а радиусы смежных кривых в плане не должны отличаться друг от друга более чем в 1,3 раза.

2.4.5.3 Проектирование круговых кривых трассы

На местных автодорогах трасса формируется прямыми участками и дугами окружности между ними. Каждое изменение направления трассы определяется углом поворота, который измеряют между продолжением предыдущего прямого участка трассы и по новым ее направлениям. Углы поворота последовательно нумеруют вдоль дороги — по ходу трассы.

Различают следующие геометрические элементы углов поворота (рисунок 3), угол θ , радиус R , тангенс T , кривую K , домер D , и биссектрису B , которые могут быть найдены по специальным таблицам кривых или вычислены по формулам:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}; \quad (1)$$

$$K = \frac{\pi R \theta}{180}; \quad (2)$$

$$D = 2T - K; \quad (3)$$

$$B = R \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right). \quad (4)$$

- **тангенс T** — это участок касательной от вершины угла до начала или конца кривой;

- кривая (длина кривой) K — расстояние по кривой от НК (начало круговой кривой) до КК (конец круговой кривой);
- биссектриса B — участок биссектрисы угла от вершины до середины кривой;
- домер D — это величина, на которую кривая короче, чем два тангенса.

РИС. 3

Геометрические элементы углов поворота трассы

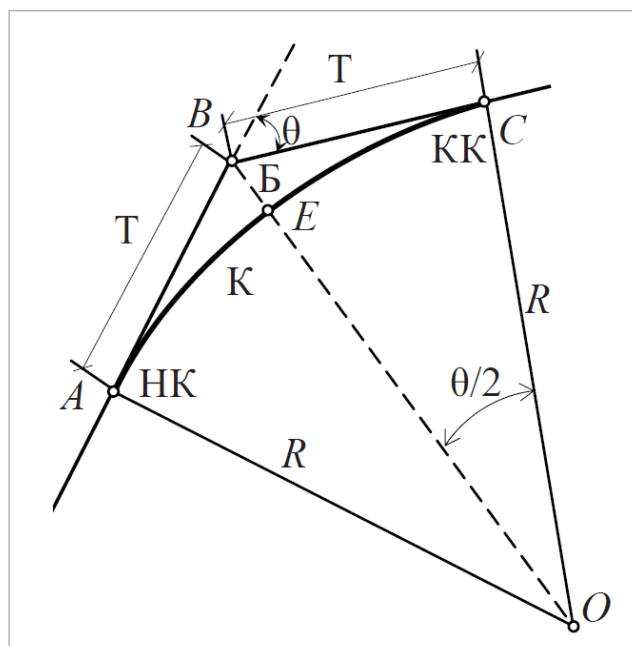


ТАБЛИЦА 5

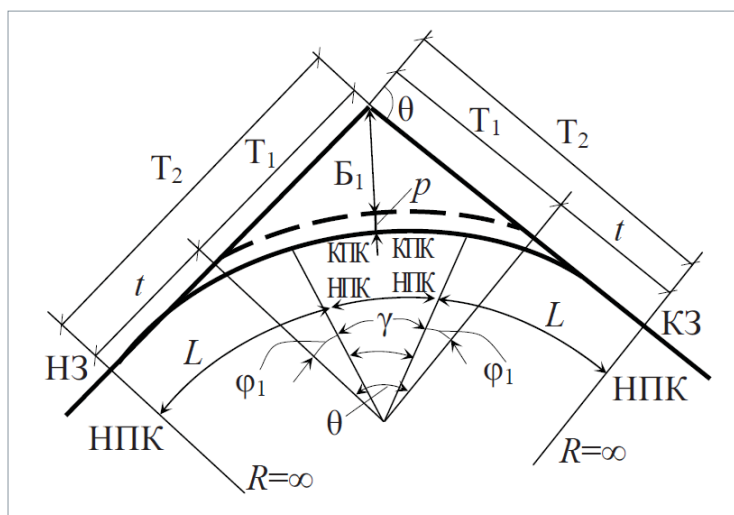
Наименьшие радиусы кривых согласно ГОСТ 33475-2015

Расчетная скорость движения, км/час	Наименьшие радиусы кривых, м	
	В плане	
	Основные	В горной местности
150	1200	1000
120	800	600
100	600	400
80	300	250
60	150	125
50	100	100
40	60	60
30	30	30

При сопряжении смежных элементов плана трассы, где различие в кривизне превышает $1/2000$, используются переходные кривые для обеспечения плавного соединения и уменьшения влияния постепенного нарастания центростремительного ускорения на въезд криволинейных участков. Переходная кривая, представляет собой кривую переменного радиуса, в пределах которой кривизна оси дороги плавно изменяется от нуля на прямом участке до $1/R$ в начальной точке круговой кривой (рисунок 4).

РИС. 4

Схема закругления с переходными кривыми и круговой ставкой



Наименьшие длины переходных кривых согласно рекомендациям ОДМ 218.2.101-2019 представлен в таблице 6.

ТАБЛИЦА 6

Наименьшие значения длин переходных кривых

Радиус круговой кривой, м	30	50	60	80	100	150	200	250	300	400	500	600–1000	1000–2000
Длина переходной кривой, м	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	100

При индивидуальном обосновании длин переходных кривых рекомендуется пользоваться следующей формулой:

$$L \geq \frac{V^3}{47RI_{don}}, \quad (5)$$

где L — длина переходной кривой, м;

V — расчетная скорость, км/ч;

R — радиус круговой кривой, м;

$I_{дон}$ — допустимая скорость нарастания центростремительного ускорения, принимаемая для автомагистралей и скоростных дорог $0,8 \text{ м/с}^3$, для всех остальных автомобильных дорог $1,0 \text{ м/с}^3$.

2.4.5.4 Переходная кривая

Кривая постепенно изменяющейся кривизны для обеспечения плавного перехода между участками трассы, располагающаяся в плане между прямолинейным участком и кривой или между двумя кривыми разной кривизны.

При вставке переходной кривой круговая кривая K укорачивается с каждого из концов на половины длины переходной кривой и угол поворота θ и уменьшается на величину $2\varphi_i$. Кроме того отстоявшаяся часть круговой кривой смещается к центру на величину ρ , называемой сдвижкой. Указанные параметры переходной кривой рассчитываются по формулам:

$$\varphi_i = \frac{l}{2R} \rho; \quad (6)$$

$$\rho = \frac{l^2}{24R}. \quad (7)$$

Так как переходные кривые уменьшают угол поворота трассы на величину $2\varphi_i$ устройство переходных кривых возможно только при условии, что $\theta > 2\varphi_i$, или $K \geq 1$ (на практике это требование устанавливается в виде: $K \geq 1 + 10 \text{ м}$).

Расстояние t между началом переходной кривой и началом несдвинутой круговой кривой, называемой дополнением к тангенсу, находят из выражения:

$$t = \frac{l}{2} \left(1 - \frac{l^2}{30l^2} + \dots \right) \approx \frac{l}{2}. \quad (8)$$

После вставки переходной кривой параметры круговой кривой — центральный угол γ и сокращенная круговая кривая K_0 определяется так:

$$\gamma = \theta - 2\varphi_i; \quad (9)$$

$$K_0 = \frac{\pi R \gamma}{180^\circ}. \quad (10)$$

Следует заметить, что поворот трассы по круговой кривой со вставками из сглаживающих переходных кривых носит название закругления.

Необходимые вычисления элементов закругления, используемые при дальнейшем проектировании трассы, определяют по формулам.

Полная длина тангенса:

$$T_n = T + t. \quad (11)$$

Полная длина закругления:

$$K_n = K_0 + 2l. \quad (12)$$

Домер закругления:

$$D_n = 2T_n + K_n. \quad (13)$$

Полная длина закругления:

$$B_n = B_0 + \rho. \quad (14)$$

В пределах переходных кривых на автодорогах осуществляется отгон виража — преобразование двускатного поперечного профиля в односкатный.

Вся трасса в плане координируется в единой системе по величине отстояния от начала — производится ее пикетаж, т. е. разбивка на отрезки кратные 100 м.

2.4.6 ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Продольный профиль (**приложение Б**, рисунок 1) представляет собой развернутую в плоскости чертежа проекцию оси дороги на вертикальную плоскость. Продольный профиль характеризует крутизну отдельных участков дороги, измеряемую продольным уклоном, и расположение ее проезжей части относительно поверхности земли. Продольный уклон является важнейшей характеристикой транспортных качеств автомобильной дороги и устанавливается в зависимости от расчетной скорости движения на трассе (таблица 7).

ТАБЛИЦА 7

Требования к проектированию продольных уклонов относительно расчетной скорости движения СП 34.13330-2012

Расчетная скорость движения км/ч	Наибольшие продольные уклоны, ‰
150	30
120	40
100	50
80	60
60	70
50	80
40	90
30	100

Продольный профиль автомобильной дороги выполняют с учетом данных, приведенных в таблице-сетке, помещаемой под продольным профилем и выполняемой (в зависимости от назначения дороги) с различной формой боковика представленной в ГОСТ 21.701-2013 и в **приложении Б** (рисунок 2).

В боковиках, показывают:

- в графе «Ситуационный план» — развернутую ось дороги и ситуацию местности (например угодья и их границы, водотоки, инженерные сети, пересекаемые дороги);
- графу «Ситуационный план» приводят при необходимости;
- в графе «Тип местности по увлажнению» — номер типа местности по признакам увлажнения верхнего слоя грунта;
- в графе «Тип поперечного профиля» — номер типа поперечного профиля конструкции земляного полотна;
- в графе «Уклон, ‰, вертикальная кривая, м» — элементы проектной линии: вертикальные кривые, прямые, привязки к пикетам в местах переломов проектной линии и нулевых точек вертикальных кривых, числовые значения радиусов и уклонов касательных в точках сопряжения элементов проектной линии, длины прямых и кривых;
- в графе «Расстояние, м» — расстояния между точками перелома фактической поверхности рельефа и неправильные пикеты;
- в графе «Пикет, элементы плана, километры» — прямые и кривые по оси дороги, числовые значения длин прямых и элементов кривых, номера пикетов, указатели километров;
- остальные графы заполняют в соответствии с их наименованиями.

При размещении продольного профиля на нескольких листах боковик таблицы допускается выполнять только на первом листе.

Рабочие отметки на пикетах указывают в местах перелома фактической поверхности рельефа и проектной линии как разнице между проектными и существующими отметками.

Проектные отметки указывают в местах перелома проектной линии, на пикетах или через 20 м.

Фактические отметки рельефа указывают по оси дороги.

Ориентация продольного профиля должна соответствовать ориентации автомобильных дорог, принятой на плане.

На продольном профиле автомобильной дороги показывают:

- линию фактической поверхности рельефа и линию проектируемой поверхности дорожного покрытия по оси дороги или другой проектной линии с соответствующими пояснениями в боковике;
- линии ординат от точек переломов фактической поверхности рельефа и точек сопряжения элементов проектной линии продольного профиля;
- горные выработки с обозначением влажности и консистенции грунтов по ГОСТ 21.302 и отметками уровня (горизонта) грунтовых вод с датой их замера; обозначения грунтов по ГОСТ 21.302 или их наименования, обозначения группы грунтов по трудности их разработки и границы слоев грунтов.
- допускается данные по слоям грунтов на профиле указывать условно. Условные номера слоев грунтов на профиле показывают в кружках

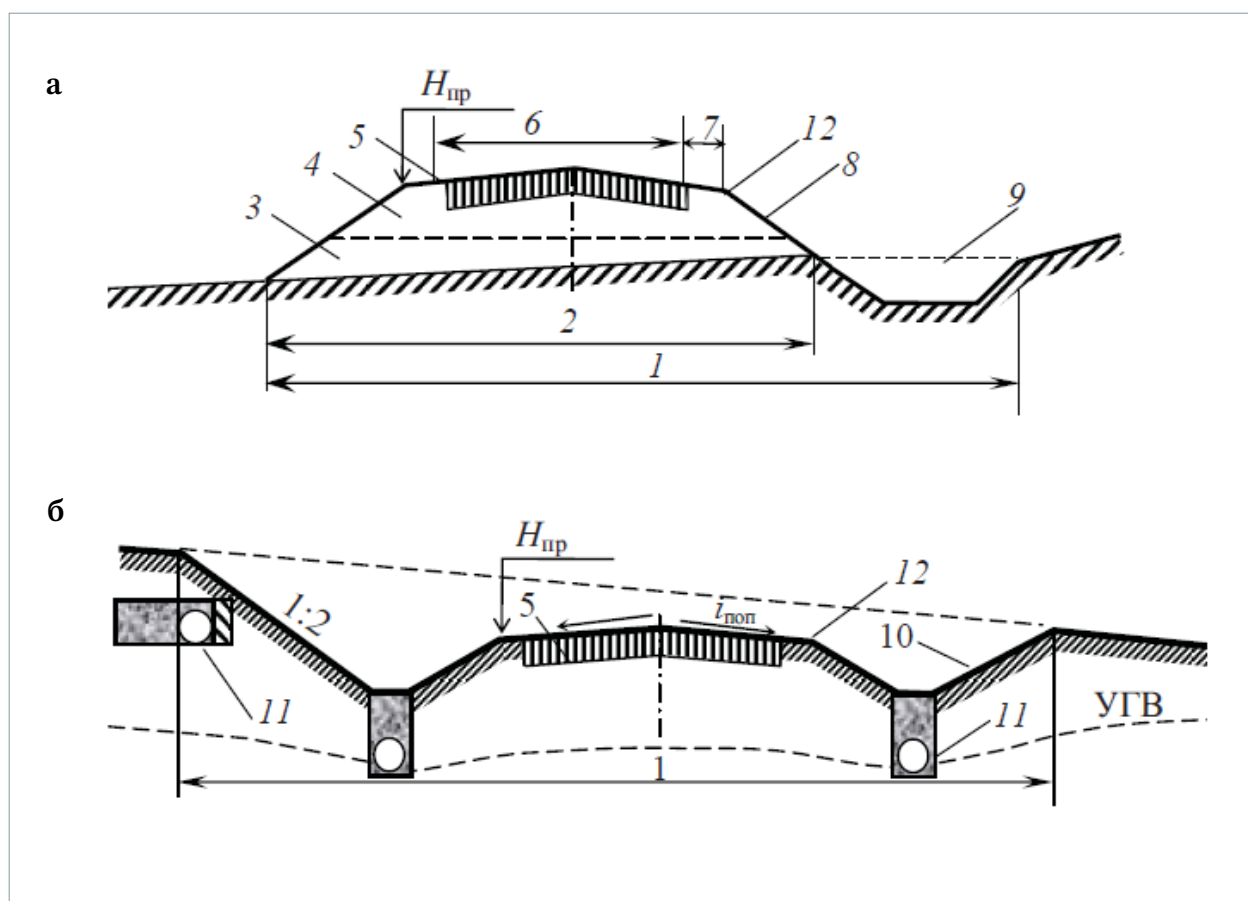
диаметром 5–7 мм в соответствии с данными таблицы, приводимой по форме 8 над боковиком продольного профиля ГОСТ 21.701-2013.

2.4.7 ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ

Поперечным профилем называется изображение сечения дороги вертикальной плоскостью, проведенной перпендикулярно к оси автомобильной дороги (рисунок 5). Составными частями поперечного профиля является конструкция земляного полотна совместно с системой водоотвода и дорожная одежда. Участок местности, выделенный для расположения на нем дороги, разработки грунта, предназначенного для отсыпки насыпей, размещения искусственных сооружений, средств оформления, защитных насаждений, называют полосой отвода.

РИС. 5

Основные элементы трассы: а — в насыпи, б — в выемке



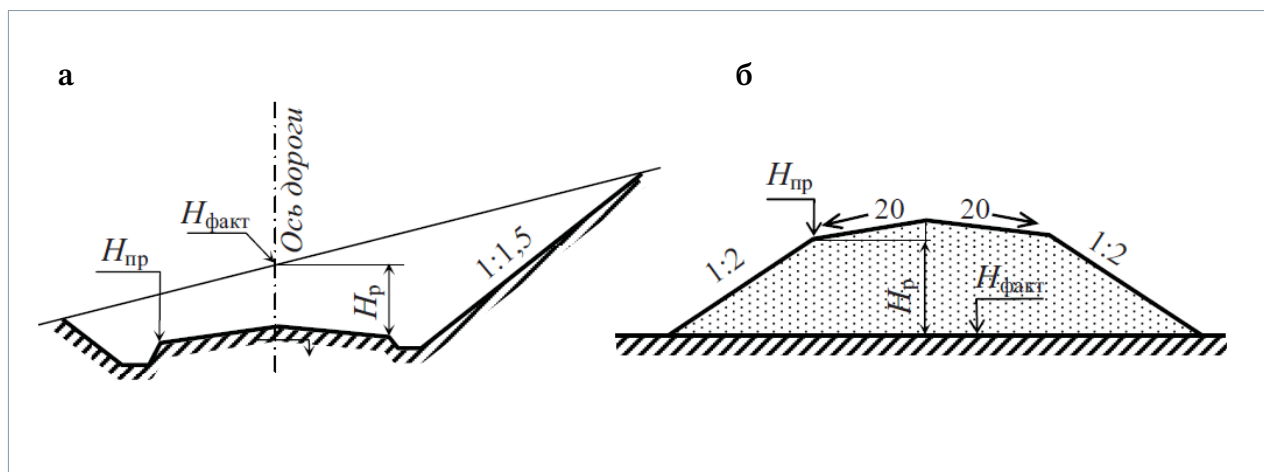
Примечание. 1 — земляное полотно; 2 — основание насыпи; 3 — тело насыпи; 4 — верхняя часть земляного полотна (рабочий слой); 5 — дорожная одежда; 6 — проезжая часть; 7 — обочина; 8 — откосная часть насыпи; 9 — боковая водоотводная канава (нагорный кювет); 10 — откосная часть выемки; 11 — дренаж; 12 — бровка земляного полотна

Для расположения проезжей части на необходимом уровне от поверхности грунта сооружают земляное полотно с боковыми водоотводными канавами (кюветами), предназначенными для осушения дороги и отвода от нее воды. Линия сопряжения поверхностей обочины и откоса насыпи или внутреннего откоса канавы (позиция 12 на рисунке 5)

образует бровку земляного полотна. В высотном отношении все проектирование дороги выполняется по отношению к бровке земляного полотна. Разница между отметкой бровки дороги отметкой поверхности земли по оси дороги, определяющая высоту насыпи или глубину выемки, называется рабочей отметкой (рисунок 6). Последняя подписывается на профиле выше или ниже изображения трассы в зависимости от знака рабочей отметки.

РИС. 6

Рабочая отметка земляного полотна (а — в выемки; б — в насыпи)



Геометрические характеристики элементов поперечного профиля (уклоны проезжей части, обочины, кавальеров, банкетов и крутизна откосов) устанавливаются в зависимости от условий эксплуатации дороги и используемых при строительстве грунтов.

2.4.8 ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Отклонение оси дороги от называемой **воздушной линией** — прямой, соединяющей точки начала и конца трассы, определяется расположением фиксированных плановых точек, а между ними — естественными уклонами местности $i_{мест}$ на отдельных участках. Сопоставление этих уклонов с допустимыми (руководящими) уклоном $i_{дон}$ трассы приводит к различным условиям трассирования. По этому показателю различают участки вольного и напряженного ходов.

На участках вольных ходов, на которых соблюдается условие:

$$i_{мест(ср)} < i_{дон} - i_{(к)}, \quad (15)$$

где $i_{(к)}$ — нормативное значение смягчения допустимого уклона автодороги на участках плановых кривых.

Трассу намечают по кратчайшему пути между фиксированными точками, обходя лишь инженерные сооружения, контурные препятствия, пересечение которых воспрещено, и места с неблагоприятными физико-геологическими условиями (болота, оползни и др.). Для получения минимального развития трассы (т. е. ее удлинения), следует трассировать линию к ближайшей фиксированной точке с возможно меньшими углами отклонения

в плане. Относительное удлинение Δl в % при угле поворота θ может быть определено по формуле:

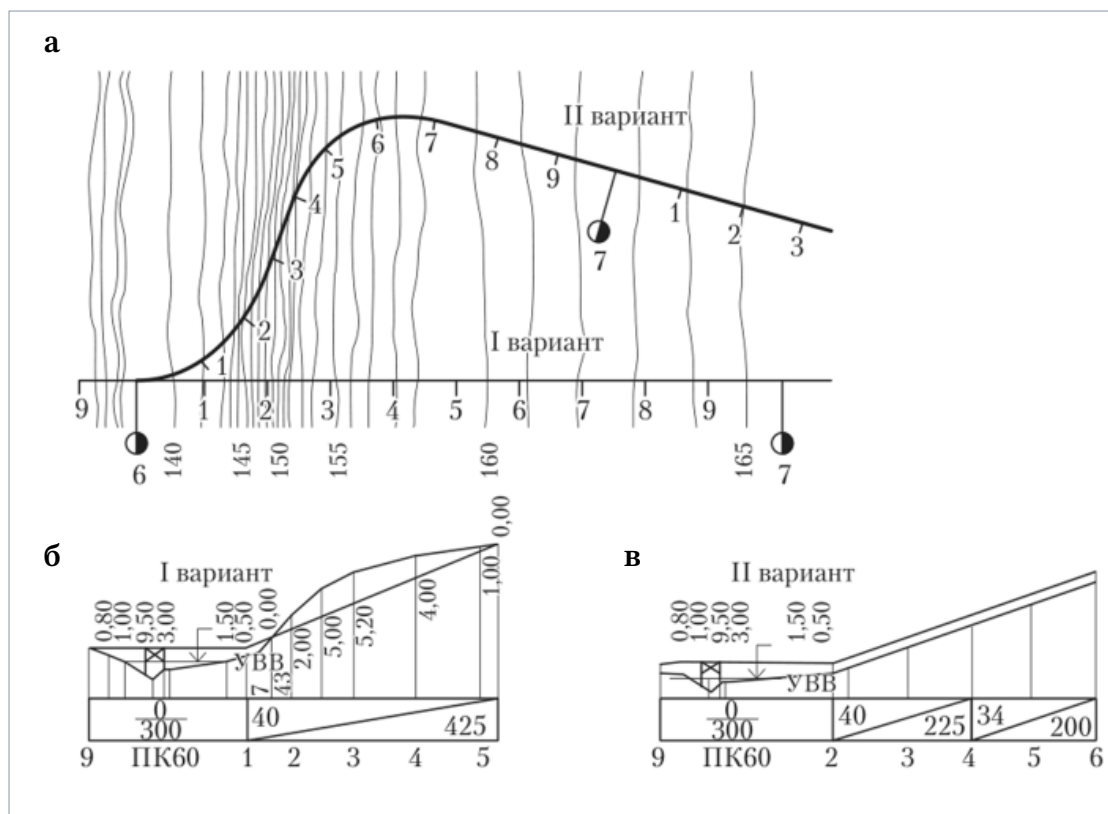
$$\Delta l = \frac{1 - \cos \theta}{\cos \theta} \times 100\%. \quad (16)$$

Это удлинение составляет для углов 5° — 0,4 %, 10° — 1,5 %, 20° — 6,5 %, 30° — 15 %, 60° — 100 %, откуда следует, что обход любого препятствия должен начинаться возможно дальше от него. Углы поворота следует располагать так, чтобы препятствие оказалось внутри угла.

На участках напряженного хода, $i_{\text{мест}} > i_{\text{дон}}$, всякое уменьшение уклона трассы приведет к удлинению проектируемой линии или к увеличению глубины выемок на водоразделах и увеличению высоты насыпей в долинах. Искусственное развитие трассы в этом случае может осуществляться с большими углами отклонения от воздушной линии (рисунок 7).

РИС. 7

Варианты проложения трассы по косогору а — план; б, в — продольные профили



На этих участках, чтобы выдержать заданный уклон трассирования при проектировании на картах, линию трассы намечают при помощи циркуля. Получаемая таким образом линия называется линией нулевых работ, вдоль которой средний уклон местности равен заданному уклону трассирования. Детальное описание методики нахождения линии нулевых работ на участках напряженного хода будет приведено во втором разделе.

Намеченная таким образом линия будущей дороги должна быть спрямлена участками более длинных прямых, позволяющих вписать закругления и выдержать другие нормы

проектирования. Проектирование по приведенной схеме носит название полигонального метода оформления плана трассы и используется для дорог IV–V категорий.

Основным недостатком данного метода является не обеспечение пространственной плавности и зрительного восприятия дороги водителем. Такая трасса характеризуется длинными прямыми участками и короткими круговыми кривыми.

При пересечении трассой рек или оврагов необходимо установить проектную высоту полотна дороги по отношению к урезу воды или отметке водопропускных сооружений и трассу провести через точки с соответствующими одноименными отметками на противоположных берегах. На спрямленной трассе с включенными в нее переходами, подписывают вершины углов ВУ1, ВУ2, ВУ3... и приступают к проектированию кривых и продольного профиля.

Спрявление и сопряжение участков напряженного и вольного ходов, осей переходов может привести к некоторым отклонениям трассы от линии нулевых работ.

Для автодорог местного значения основными препятствиями являются постоянные и периодически действующие водотоки. Мосты и трубы на дорогах следует располагать таким образом, чтобы при обеспечении беспрепятственного пропуска высоких вод и соблюдении требований экономичности не нарушать плавность трассы. Современные условия проектирования не ставят никаких ограничений для малых и средних мостов и труб под насыпями, подчиняя их расположение требованиям плавности трассы и допуская их устройство при любых сочетаниях плана и профиля.

2.5 ИНСТРУКЦИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

2.5.1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА

Необходимо дать краткую физико-географическую характеристику района:

- 1) климатические условия;
- 2) рельеф;
- 3) состав рельефа;
- 4) гидрографическую характеристику;
- 5) социально-экономическую характеристику района работ.

При этом климатические условия характеризовать температурой воздуха, количеством осадков, скоростью и направлением ветра, высотой снежного покрова, глубиной промерзания почвы.

Рельеф описывается непосредственно по карте. Необходимо отметить пересеченность, максимальные и минимальные отметки, вершины, глубокие овраги, крутизну склонов и уклоны.

Гидрографическая характеристика должна составлять из наличия направления течения рек и ручьев, их скорости, характер и распространение заболоченных участков.

Социально-экономическая характеристика района работ проектирования содержит, расположение населенных пунктов, их планировку, состав промышленности и дорожно-транспортной сети. Указать начало и конец проектируемой дороги.

2.5.2 ИМПОРТ И МАСШТАБИРОВАНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЫ В ПО

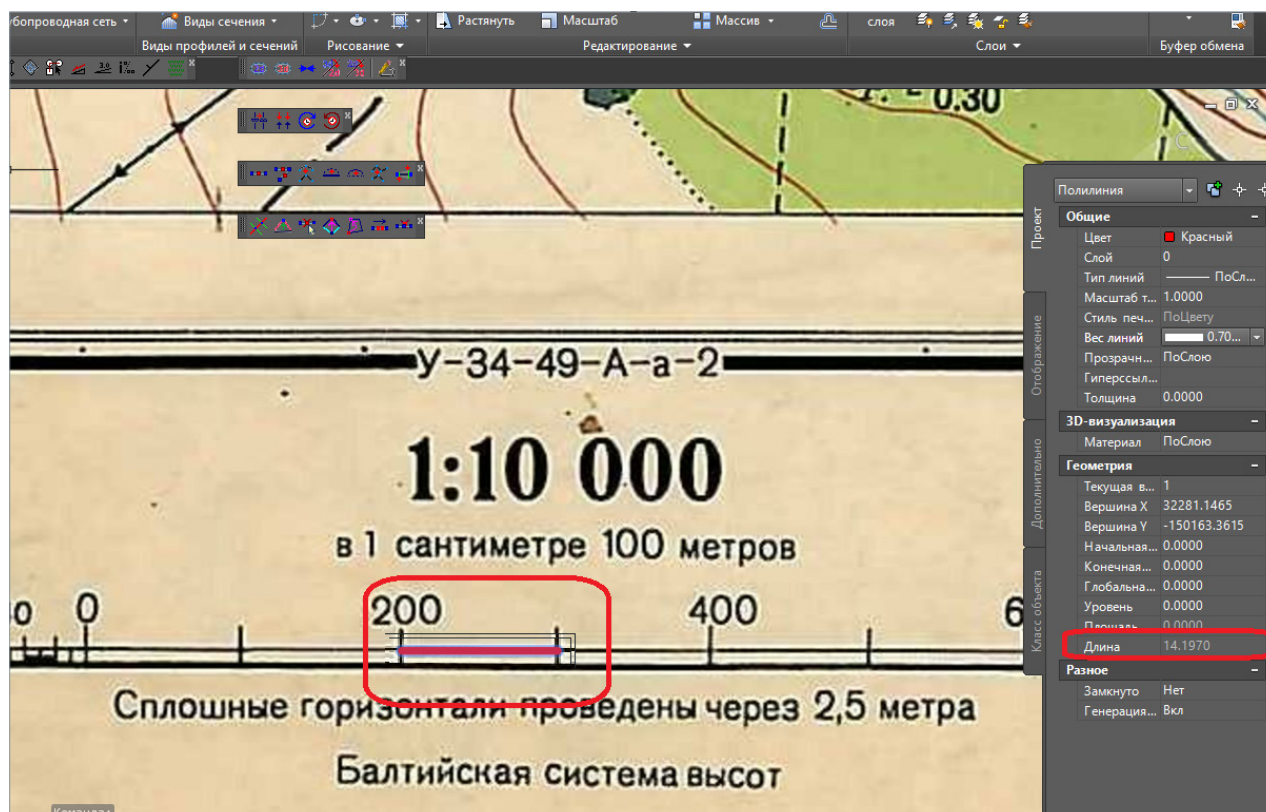
В первую очередь необходимо импортировать топографическую карту в программное обеспечение путем переноса файла в ПО Civil 3D.

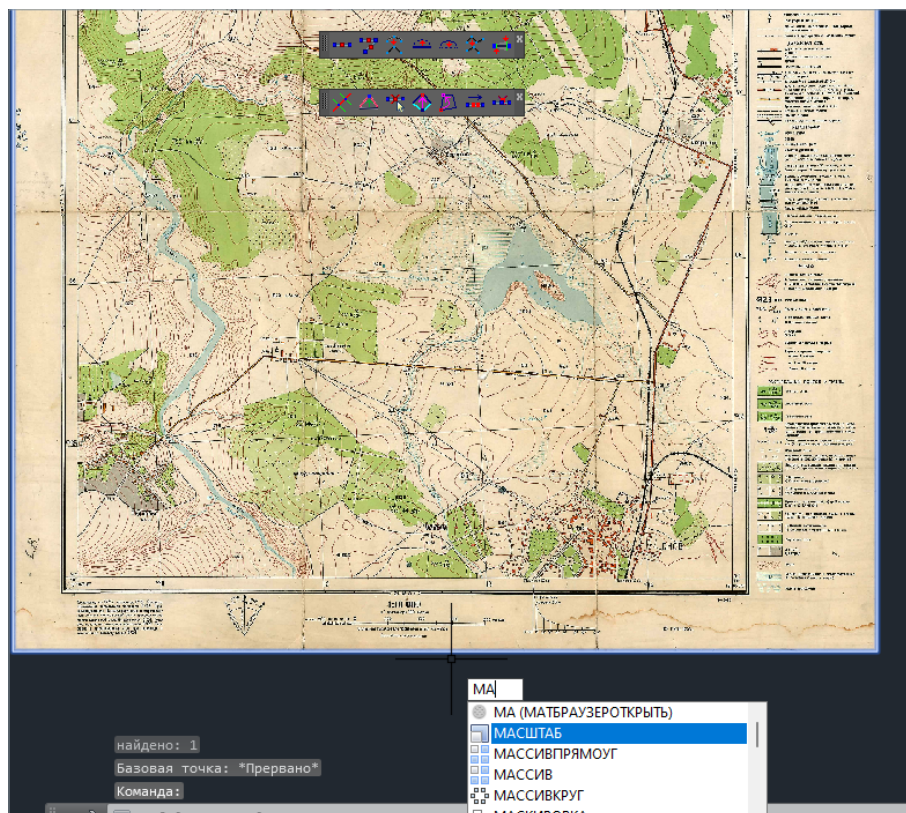
После импорта нужно масштабировать изображение, для этого следует выполнить ряд действий (рисунок 8):

1. Измерить длину координатной сетки (любого элемента с известным параметром длины) на карте с помощью полилинии или команды измерить.
2. Рассчитать масштабный коэффициент путем деления истинной длины на измеренную.
3. Выделить изображение и масштабировать командой «МАСШТАБ» относительно вычисленного коэффициента (рисунок 9).

РИС. 8

Расчет масштабного коэффициента





ПРИМЕР

На рисунке 8 измеренная длина линии в 100 метров равна 14,1970 следовательно, коэффициент масштабирования равен $100/14,1970 = 7,04374163556$

2.5.3 ВЫБОР ПОЛОЖЕНИЯ ТРАССЫ

При определении планового положения трассы, необходимо учитывать топографические, геологические, климатические и другие условия, а также руководствоваться следующими соображениями по геометрии трассы:

- ось трассы должна располагаться по возможности ближе к воздушной линии для обеспечения минимального значения коэффициента развития;
- сумма углов поворота должна быть минимальной, следует избегать углов поворота $\theta > 45^\circ$;
- сумма абсолютных значений превышений по трассе или по участкам, имеющим варианты проложения в плане, должна быть минимальной;
- на участках напряженного хода проектировать трассу с предельно допустимыми значениями продольных уклонов.

Учитывая, что проектируемая трасса представляет собой сочетание участков вольного и напряженного ходов, на карте должна быть зафиксирована линия проектных уклонов

или линия нулевых работ. Рассмотрим более подробно порядок нахождения этой линии между точками А (начало участка) и Б (конец участка) (рисунок 10).

РИС. 10

Нахождение линии «нулевых работ»

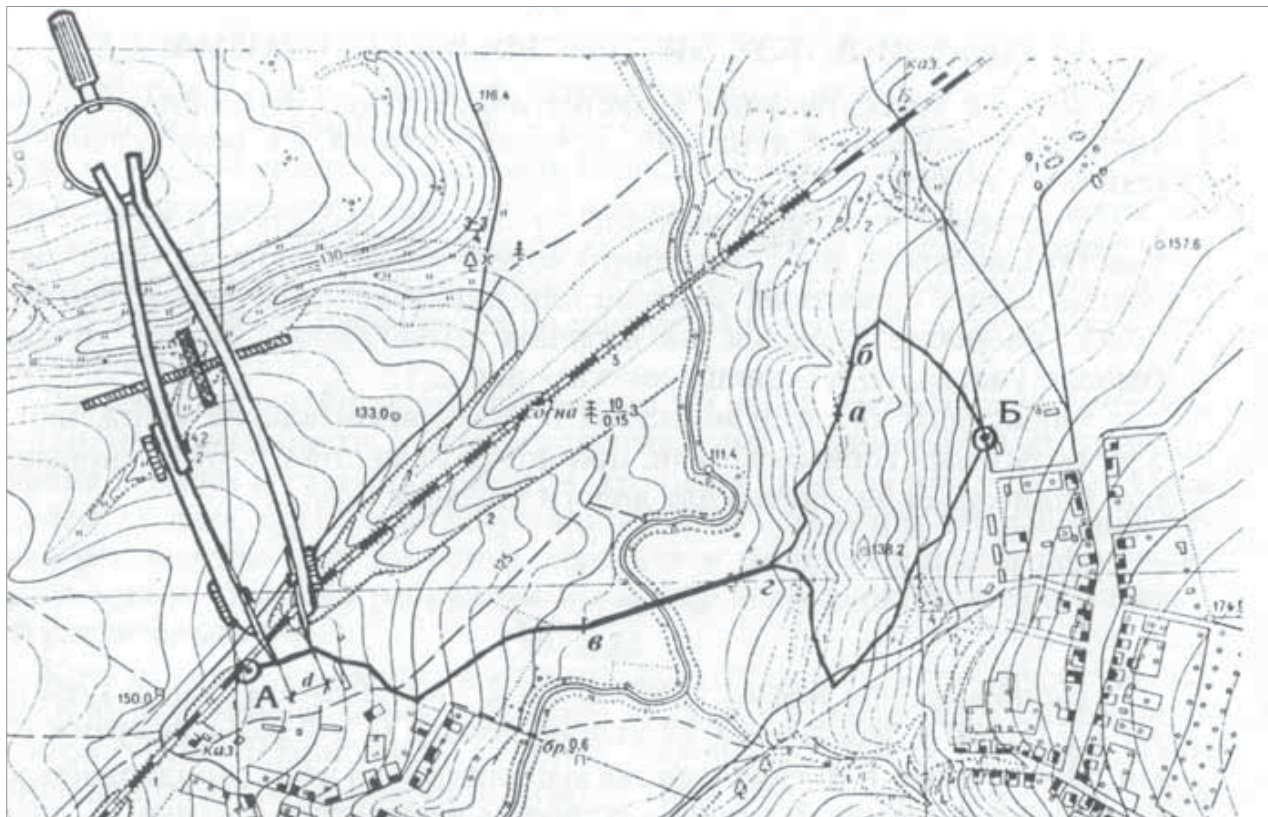


РИС. 11

Нахождение линии нулевых работ



Определим на карте масштаба 1 : М горизонтальное заложение d между смежными горизонталями, при котором местность будет повышаться или понижаться заданной (17) для дороги уклоном $i_{дон}$:

$$d = \frac{h}{i_{\text{дон}} \times M}.$$

Например, при высоте сечения $h = 5,0$ м, масштабе используемой карты $1 : 25\,000$ и заданном в ТЗ уклоне дороги $i_{\text{дон}} = 30\%$, получим $d = 6,7$ мм. После этого в начале участка напряженного хода, придерживаясь направления воздушной линии, раствором измерителя, равным d , засекаем соседнюю горизонталь, затем последующую и т. д. (рисунок 10). На участках, где расстояние l_i между горизонталями больше расчетного значения, положение линии устанавливается свободно. Этот же принцип реализуется и при пересечении ходом одноименной горизонтали (участок а–б, рисунок 10). При пересечении речных долин и тальвегов линия трассы соединяет точки с одинаковыми отметками на противоположных берегах (участок в–г).

Пересечения и примыкания дорог в одном уровне независимо от схемы пересечений рекомендуется выполнять под прямым или близким к нему углом (при слиянии дорог пересечения могут выполняться под любым углом с учетом обеспечения видимости).

Наименьший радиус кривых при сопряжении дорог следует принимать по категории дороги, с которой происходит съезд (в нашем случае – с проектируемой дороги), независимо от угла пересечения и примыкания.

Участки мостовых переходов также должны располагаться перпендикулярно направлению течения и преимущественно на прямых, хотя на автомобильных дорогах положение искусственных сооружений в плане и профиле имеет значительно меньше ограничений, чем на железных дорогах, и в основном подчиняется требованиям плавности трассы с учетом местных условий.

Обычно возможно построение на каждом участке нескольких вариантов линии нулевых работ (например, участок г–б протрассирован по двум примерно равнозначным вариантам).

Выбрав оптимальный вариант, трассу спрямляют, руководствуясь требованиями предельных длин прямых в плане, которые, исходя из условий ландшафтного проектирования, не должны превышать значений таблицы 8.

РИС. 12

План трассы с назначенными вершинами углов поворота (показан точками)

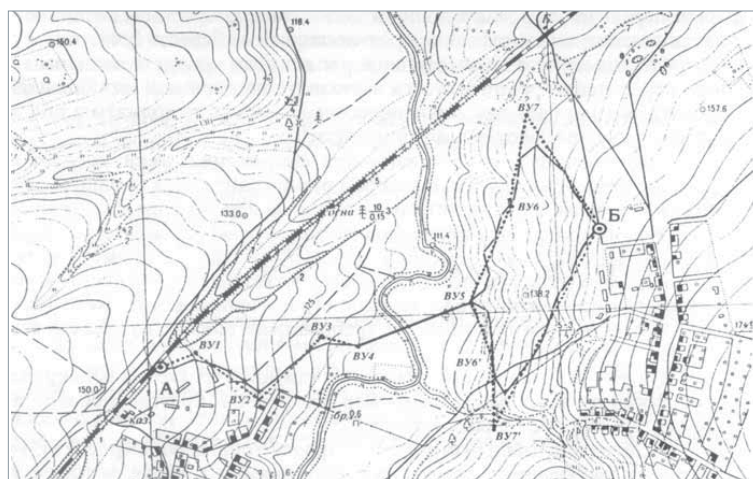


ТАБЛИЦА 8

Предельная длина прямой в плане на местности

Категория дороги	Предельная длина прямой в плане на местности, м	
	Равнинная	Пересеченная
I	3500–5000	2000–3000
II	2000–3500	1500–2000
IV, V	1500–2000	1500

Намечают положение вершин углов поворота (ВУ) и приступают к расчету элементов кривых. Положение вершин углов поворота выбирается с учетом будущего закругления, оставляя, как правило, контурные препятствия внутри угла поворота. При больших углах поворота ($40\text{--}60^\circ$) возможны варианты расположения вершины угла на препятствии. На участках напряженного хода вершина угла поворота осредненной линии трассы может быть отнесена на внешнюю сторону трассы по отношению к точке поворота линии нулевых работ так, чтобы при последующем вписывании закругления кривая приблизительно совпадала с линией нулевых работ (ВУ7 и ВУ8).

При малых углах поворота дороги в плане рекомендуется назначать радиусы кривых по таблице 9.

ТАБЛИЦА 9

Радиусы круговых кривых при малых углах поворота

Угол поворота, градусы	1	2	3	4	5	6	7–8
Радиус круговой кривой, м	30000	20000	10000	6000	5000	3000	2500

2.5.4 РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КРИВЫХ

Измерив углы поворота запроектированной трассы по карте транспортиром с точностью до $0,5^\circ$, приступают к назначению радиусов кривых на закруглениях, исходя из требований ГОСТ и следующих условий:

- наименьшая величина радиуса кривых устанавливается по таблице 5;
- при благоприятных условиях и отсутствии контурных и других препятствий радиус кривых следует принимать в 2–3 раза больше минимального;
- при выборе радиуса следует избегать наложения кривых, вписываемых в смежные углы поворота. Невыполнение этого условия может потребовать после вычисления элементов смежных кривых, некоторого изменения плана трассы и переноса углов поворота с целью увеличения расстояния между ними;

- при радиусах кривых в плане 2000 м и менее предусматривается вставка переходных кривых.

Результаты расчетов элементов круговых и переходных кривых, производимых по формулам ниже и полных параметров закруглений трассы необходимо представить в виде таблиц 10 и 11,

ТАБЛИЦА 10

Расчет круговых кривых

Номер вершины угла (ВУ)	R, м	θ°	Элементы круговых кривых, м			
			T	K	D	B
№3	600	38°	206,60	397,94	15,26	34,57

ТАБЛИЦА 11

Расчет закругления

ВУ №3	Элементы переходных кривых, м						Параметры закругления, м				
	V, км/ час	l_1	φl	P	t	γ	K	T_n	K_n	D_n	B_n
	100	44,33 (50,00) ¹	2,1 °	0,14	22,16	33,8 °	353,95	228,76	442,61	14,91	34,71

где:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}; \quad (18)$$

$$K = \frac{\pi R \theta}{180}; \quad (19)$$

$$D = 2T - K; \quad (20)$$

$$B = R \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right); \quad (21)$$

$$I_{\text{ПК}} = \frac{V^3}{47RJ}; \quad (22)$$

$$\varphi_l = \frac{l}{2R} \rho; \quad (23)$$

$$\rho = \frac{l^2}{24R}; \quad (24)$$

$$t = \frac{l}{2}; \quad (25)$$

$$\gamma = \theta - 2\varphi; \quad (26)$$

$$K_0 = \frac{\pi R \gamma}{180}; \quad (27)$$

$$T_n = T + t; \quad (28)$$

$$K_n = K_0 + 2l; \quad (29)$$

$$D_n = 2T_n + K_n; \quad (30)$$

$$B_n = B_0 + \rho. \quad (31)$$

После вычисления параметров закруглений проверяется выполнение условия по величине расстояния L между углами поворота:

$$L_{i-i+1} \geq T_i + T_{i+1}, \quad (32)$$

и, при необходимости, назначаются новые значения радиусов круговых кривых. В этом случае приближенное значение радиуса может быть вычислено по формуле решением обратной задачи по известному значению:

$$T_k = \frac{L}{2}.$$

Следует иметь в виду, что при примыкании к существующей трассе за ВУ № 1 на проектируемой трассе принимается точка пересечения с существующей автодорогой (в проекте — точка начала или конца трассы).

Составленный проект плана трассы и выполненные вычисления параметров закруглений позволяют перейти к разбивке пикетажа по трассе.

2.5.5 ОЦИФРОВКА КАРТЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЦМР

После завершения проектирования положения трассы необходимо оцифровать карту для автоматического построения пикетажа, а также проектирования поперечного и продольного профиля трассы.

Для этого необходимо выполнять ряд действий:

1. Вдоль трассы необходимо отрисовать горизонтали с помощью полилиний и задать им в свойствах высоту (глубину) равную изображению топографической карты (рисунок 13).

2. Преобразовать полилинию в характерную линию.
3. Создать поверхность.
 - 3.1. Нажать на поверхность правой кнопкой мыши и создать поверхность.
 - 3.2. В появившемся окне нажать кнопку «ОК».
4. Загрузить в созданную поверхность запроектированные характерные линии (рисунок 14, рисунок 15, рисунок 16):
 - 4.1. Раскрываем окно поверхности и определения.
 - 4.2. Нажимаем ПКМ на «Структурные линии».
 - 4.3. Добавляем запроектированные ранее характерные линии.

РИС. 13

Отрисовка полилиний и выставление высоты (уровня)

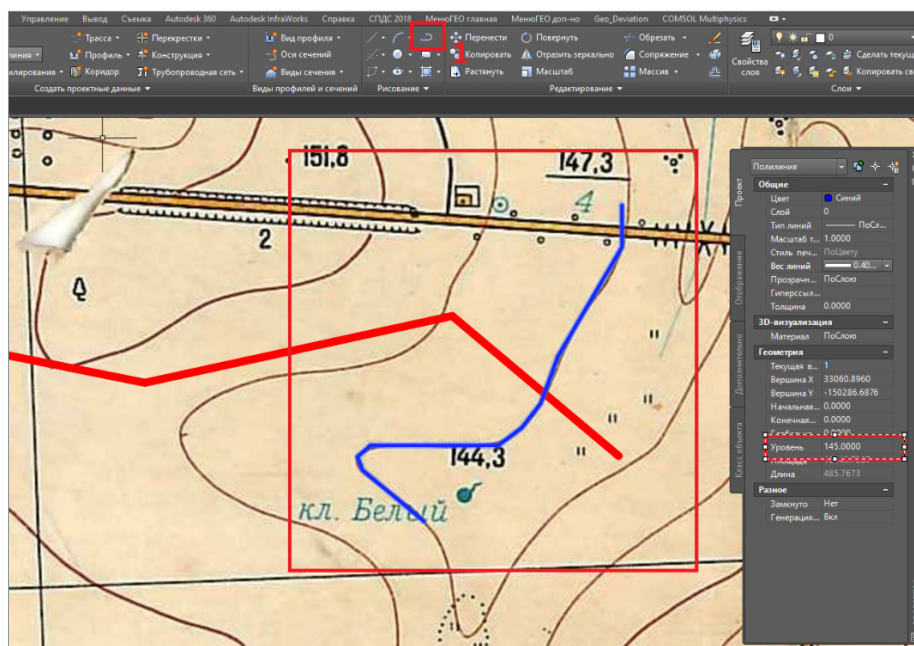
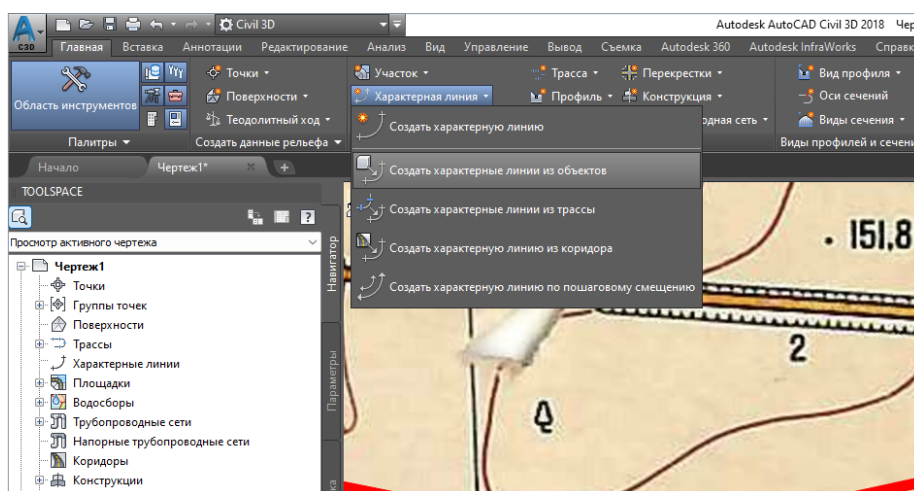
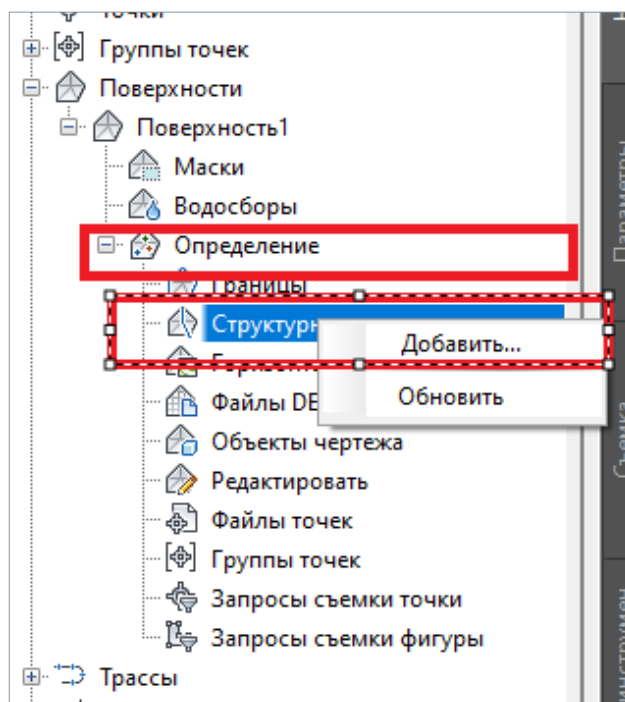


РИС. 15

Создание поверхности



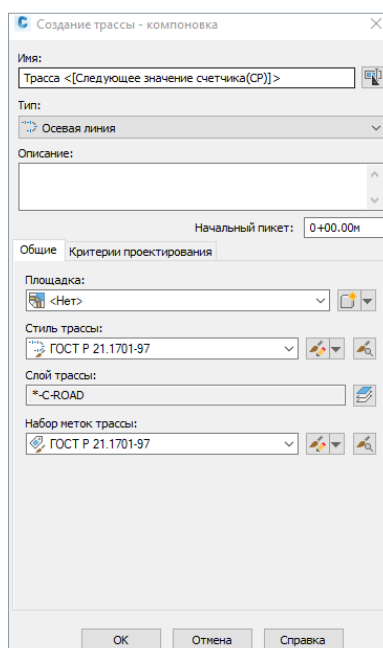
Добавление структурных линий в созданную поверхность



2.5.6 ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАССЫ С ПОМОЩЬЮ ПО

1. Выберите инструмент — инструмент создания трасс. В открывшемся окне (рисунок 17) выставьте необходимые стили оформления. Нажмите «ОК».

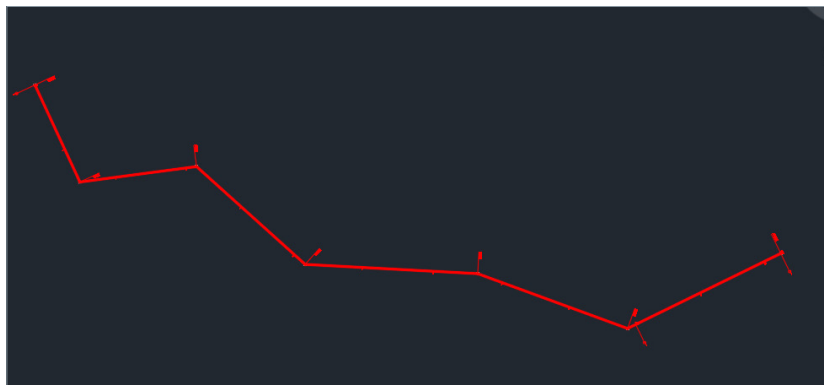
Окно создания трассы



2. В открывшемся окне выберите  — прямой участок (без кривых).
Проложите трассу по поверхности (рисунок 18).

РИС. 18

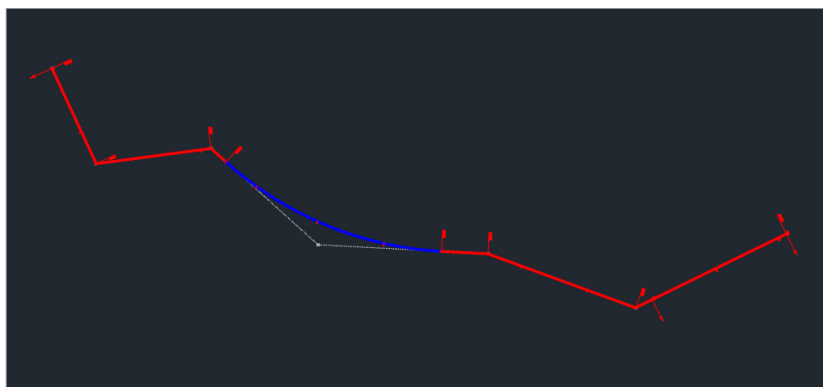
Пример запроектированной трассы



3. Далее выберите  — сопряжение свободной кривой (между двумя объектами по радиусу). Выберите сторону до вершины угла, затем выберите сторону после вершины угла. Введите радиус кривой (не менее 100 м). На трассе отобразится кривая (рисунок 19). Повторите для всех вершин углов.

РИС. 19

Пример трассы с запроектированной круговой кривой



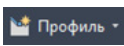
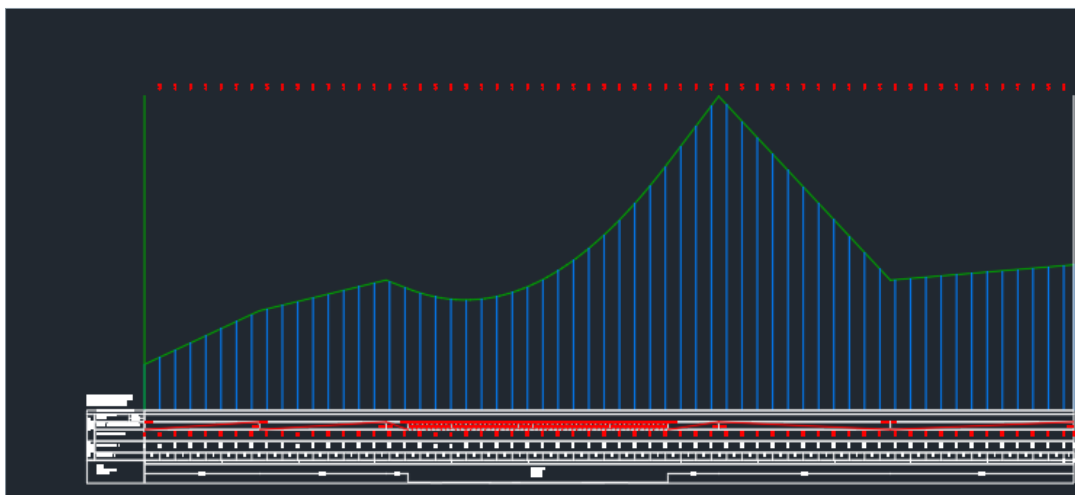
4. Выберите  Профиль — создать профиль поверхности. В открывшемся окне выберите вашу дорогу и поверхность и нажмите добавить. Нажмите вычертить на виде профиля. В открывшемся окне нажмите «Создать вид профиля». Нажмите на любое место в проекте для размещения профиля (рисунок 20).

РИС. 20

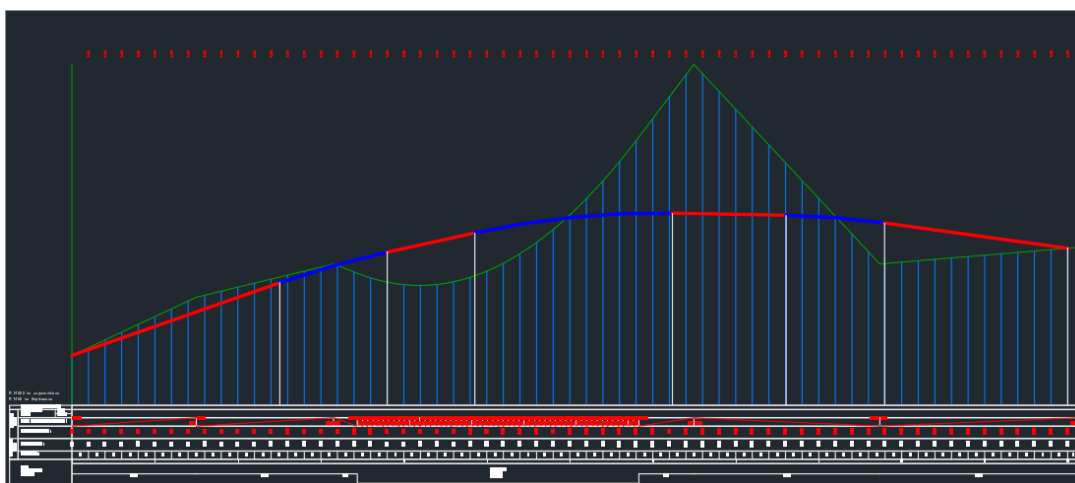
Пример профиля трассы



5. Нажмите на созданный профиль. В появившейся сверху панели инструментов выберите «Инструмент создания профилей». В открывшемся окне введите имя профиля и нажмите «ОК». В появившейся панели «Инструменты создания компоновки профиля» используя  — «вычертить прямые участки с кривыми» постройте продольный профиль трассы (рисунок 21).

РИС. 21

Пример продольного профиля трассы



6. Для настройки отображения профиля выберите профиль → зайдите в «Свойства вида профиля». В строке

Вертикальная геометрия

ГОСТ Р 21.1701-97 Уклон - Длина

 в столбце «профиль 1» выберите запроектированную трассу. По аналогии в строке

Данные профиля

ГОСТ Р 21.1701-97 Отметки проектные

 в столбцах «профиль 1» и «профиль 2».

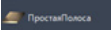
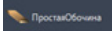
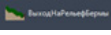
7. В **Местоположение:** выберите верх вида профиля. В строке **Низ вида профиля**  **Данные профиля** | **ГОСТ Р 21.1701-97 Рабочие отметки** в столбце «профиль 2» установите вашу запроектированную трассу.
8. Для дальнейшего проектирования дороги расчета земляных работ, необходимо создать конструкцию и коридор. Для этого выбираем на вкладке главная: Конструкция → создать конструкцию. В появившемся окне нажимаем «ОК» и размещаем ось конструкции в проекте.
9. Открываем инструментальную палитру (Ctrl + 3). Она появится в виде вкладки в правой части экрана (рисунок 22). Нажав ПКМ на палитре можно выбрать какие элементы будут отображаться.
10. С помощью палитры размещаем , , ,  по две стороны от оси конструкции. В результате должна получиться конструкция как на рисунке 23.

РИС. 22

Инструментальная палитра

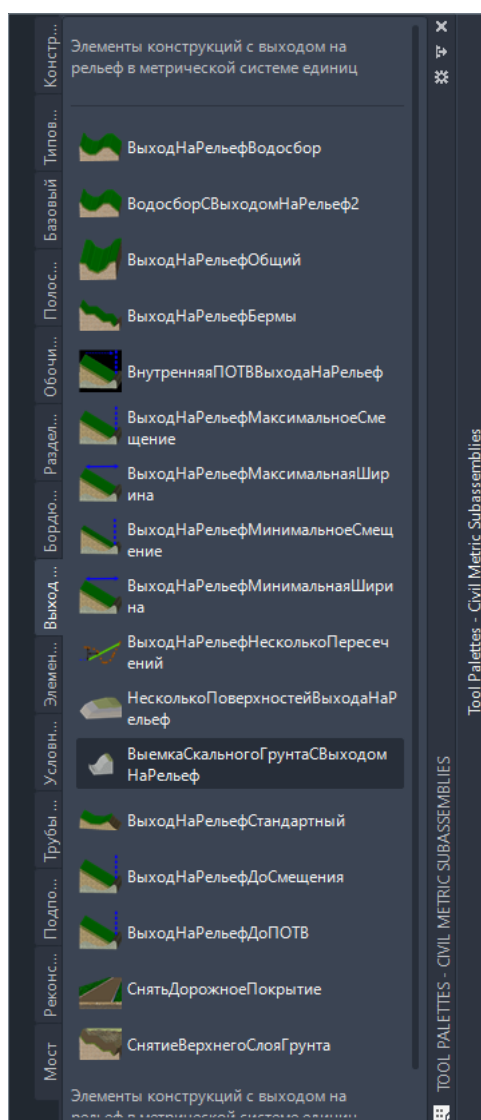
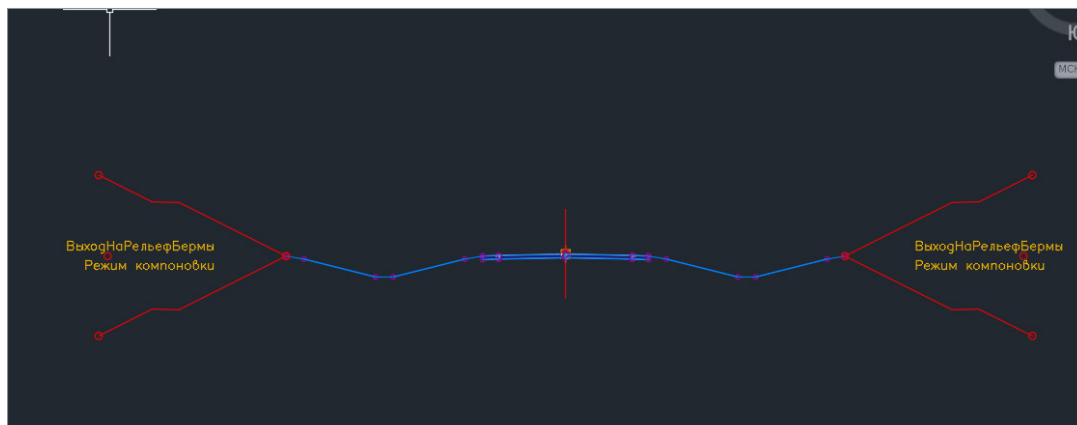


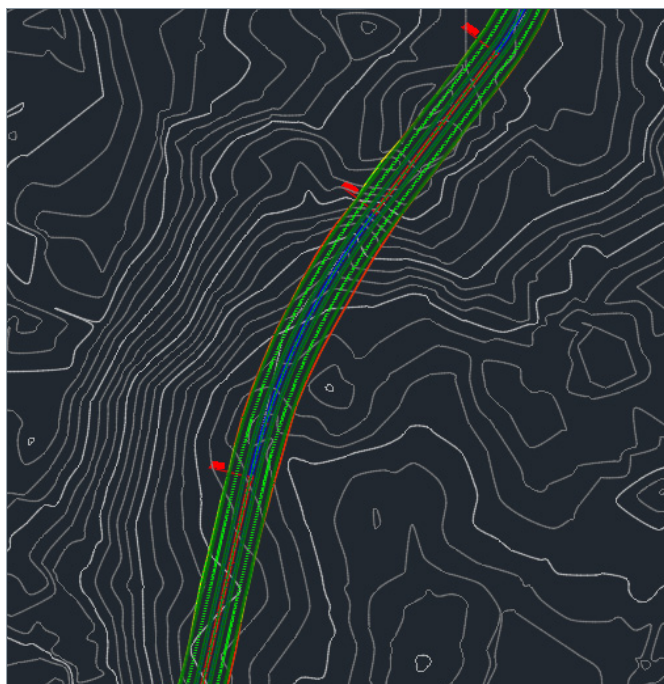
РИС. 23
Конструкция дороги



11. Далее создаем коридор трассы. Для этого на вкладке главная выбираем коридор → коридор. В открывшемся окне выбираем следующее:

В строке выбираем свою ось трассы, в строке профиль выбираем продольный профиль трассы, в строке конструкция выбираем созданную конструкцию, в строке целевая поверхность выбираем поверхность земли и нажимаем «ОК». В следующем окне также нажимаем «ОК». В следующем окне выбираем перестроить коридор. В результате на оси трассы должен отобразиться коридор (рисунок 24).

РИС. 24
Коридор трассы



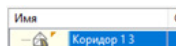
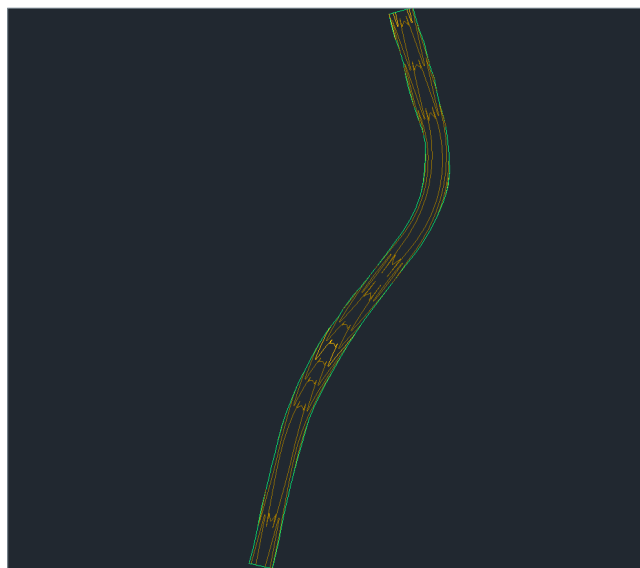
12. Для дальнейшего расчета земляных работ и построения поперечных профилей дороги необходимо создать поверхность коридора. Для этого выбираем созданный коридор. В вкладках в верхней части выбираем поверхность коридора. Нажимаем . В графе укажите код, необходимо выбрать код элемента конструкции, по которой будет строиться поверхность. В нашей конструкции таким элементом является нижняя грань полосы дороги. Чтобы определить код данного элемента, необходимо зайти в справку. Для этого в палитре инструментов находим элемент простая полоса, нажимаем ПКМ и выбираем справка. Находим диаграмму кодирования. Нижняя часть полосы определена под номером L3. В таблице Коды точек, звеньев и форм находим элемент L3 и смотрим значение в столбце коды. Для Этого элемента код База отсчета, Дополнительный слой основания. Возвращаемы в окно создания поверхности коридора и в графе укажите код выбираем база отсчета. Нажимаем . Во вкладке граница нажимаем ПКМ на , и выбираем внешний контур по границе коридора. Нажимаем ок и перестроить коридор. Для того чтобы убедиться, что поверхность построилась корректно можно воспользоваться редактором сечений и посмотреть поперечное сечение поверхности коридора.
13. В результате должна получиться поверхность коридора (рисунок 25).

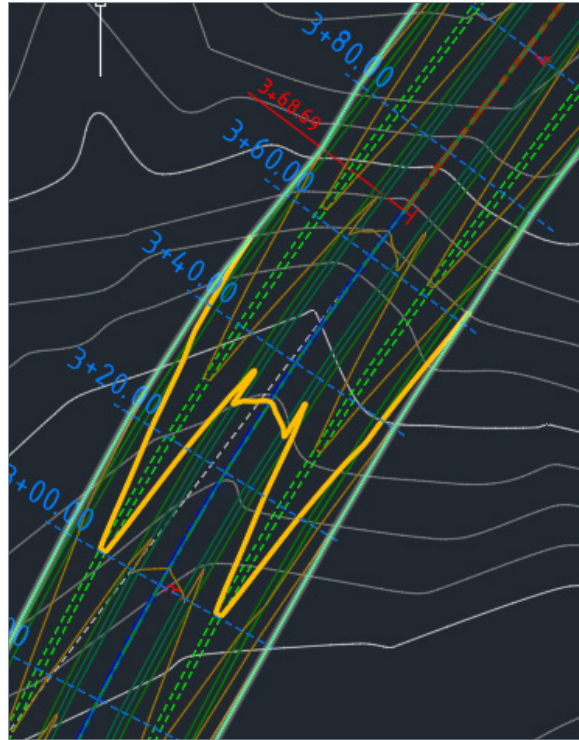
РИС. 25

Поверхность коридора



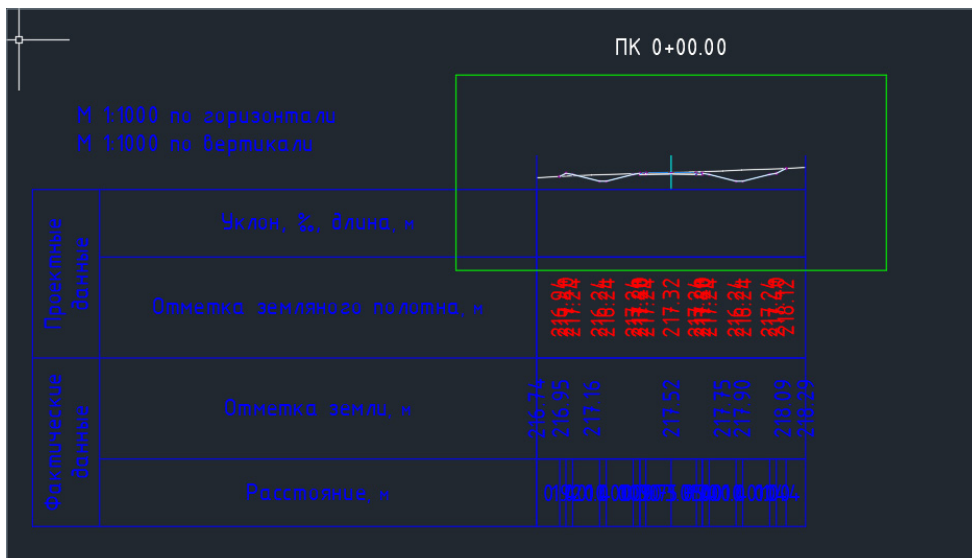
14. Для построения сечений необходимо выбрать во вкладке «Главная» оси сечений, нажать Enter и выбрать трассу из списка. В окне создание группы сечений выставить галочки для всех источников данных и нажать «ОК». В инструменте для работы с осями сечений нажав на выпадающий список  необходимо выбрать по диапазону сечений и нажать ок. Инструмент для работы с осями сечений необходимо закрыть. На оси трассы появятся обозначения сечений (Рисунок 26).

РИС. 26
Сечения на оси трассы



15. Во вкладке главная выбираем виды сечений → создать вид сечения. В разделе области данных для отметок земли необходимо выставить поверхность земли. Далее нажмите создание вида сечения и разместите в проекте. В результате получится поперечное сечение коридора (рисунок 27).

РИС. 27
Поперечное сечение дороги



2.6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАДАНИЮ 1

1. Каковы преимущества и недостатки камерального трассирования по сравнению с полевым?
2. Как определяется радиус круговой кривой по ее элементам и как этот параметр влияет на ее форму?
3. Как проверяется соответствие установленной круговой кривой проектным параметрам?
4. Какие параметры характеризуют переходные кривые и как они взаимосвязаны?
5. Зачем проектируется переходная кривая и каково ее назначение при проектировании и строительстве дорог?
6. Что такое воздушная линия и какие факторы влияют на ее форму и длину?
7. Как определяется уклон продольного профиля и как он учитывается при проектировании и строительстве дорог и других объектов?
8. Что такое поперечный профиль и для чего он используется?
9. По каким критериям классифицируются дороги?
10. Что такое план автомобильной дороги и какую роль он играет в проектировании, строительстве и эксплуатации дорог?
11. Какие масштабы используются при составлении плана автомобильной дороги и как это влияет на его содержание и назначение?
12. Как учитываются особенности рельефа и окружающей среды при составлении плана автомобильной дороги?

3 Задание № 2. Создание и использование цифровой модели рельефа для решения инженерно-геодезических задач

3.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Выполнить построение цифровой модели рельефа и рассчитать объемы земляных работ.

3.2 ЗАДАЧИ РАБОТЫ

1. По исходным данным, расположенным в архиве «Варианты к заданию № 2 по АКИГР», выполнить построение цифровой модели рельефа.
2. Используя команды редактирования поверхности, убрать имеющиеся ошибки построения горизонталей и создать подписи горизонталей.
3. Используя «Контрольные точки», представленные в исходном файле и не участвующие в процессе создания поверхности, выполнить оценку точности цифровой модели рельефа по формулам 33–37. Сравнить с требованиями [3] и написать выводы про построенную ЦМР.
4. Убрать рельеф с водоемов.
5. Создать проектную поверхность на заданном по варианту участке.
6. Выполнить расчеты объемов земляных работ.

3.3 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ

ТАБЛИЦА 12
Исходные данные к работе

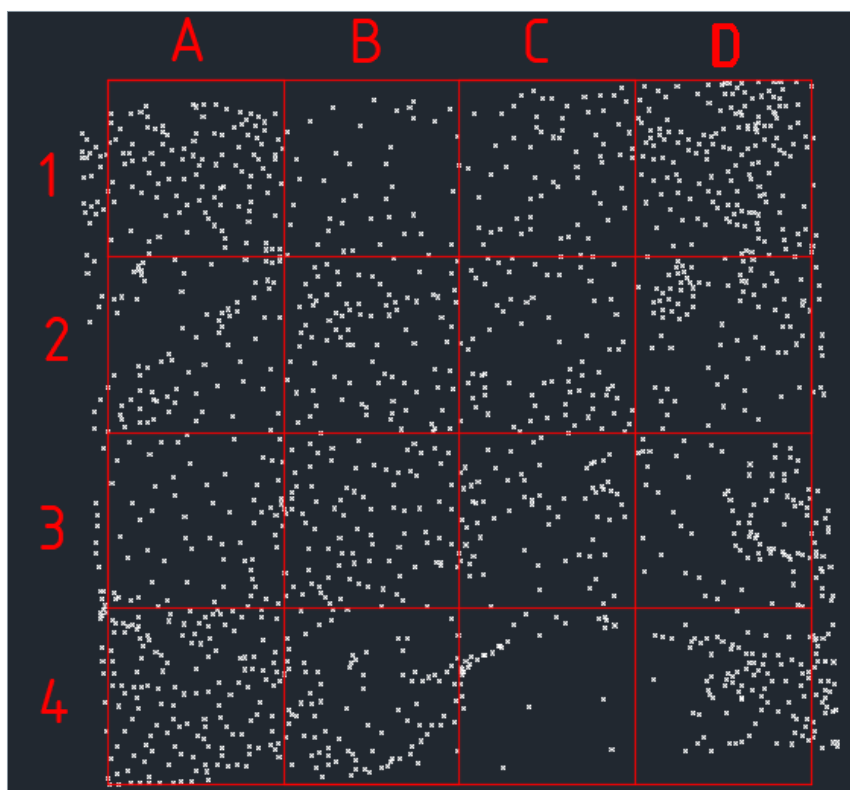
№	Файл	Уч*	№	Файл	Уч*	№	Файл	Уч*	№	Файл	Уч*
1	TINv1	A1	26	TINv26	B2	51	TINv51	A1	76	TINv76	B2
2	TINv2	A2	27	TINv27	C1	52	TINv52	A2	77	TINv77	C1
3	TINv3	A3	28	TINv28	C2	53	TINv53	A3	78	TINv78	C2

№	Файл	Уч*	№	Файл	Уч*	№	Файл	Уч*	№	Файл	Уч*
4	TINv4	A4	29	TINv29	D1	54	TINv54	A4	79	TINv79	D1
5	TINv5	B1	30	TINv30	D2	55	TINv55	B1	80	TINv80	D2
6	TINv6	B2	31	TINv31	A1	56	TINv56	B2	81	TINv81	A1
7	TINv7	C1	32	TINv32	A2	57	TINv57	C1	82	TINv82	A2
8	TINv8	C2	33	TINv33	A3	58	TINv58	C2	83	TINv83	A3
9	TINv9	D1	34	TINv34	A4	59	TINv59	D1	84	TINv84	A4
10	TINv10	D2	35	TINv35	B1	60	TINv60	D2	85	TINv85	B1
11	TINv11	A1	36	TINv36	B2	61	TINv61	A1	86	TINv86	B2
12	TINv12	A2	37	TINv37	C1	62	TINv62	A2	87	TINv87	C1
13	TINv13	A3	38	TINv38	C2	63	TINv63	A3	88	TINv88	C2
14	TINv14	A4	39	TINv39	D1	64	TINv64	A4	89	TINv89	D1
15	TINv15	B1	40	TINv40	D2	65	TINv65	B1	90	TINv90	D2
16	TINv16	B2	41	TINv41	A1	66	TINv66	B2	91	TINv91	A1
17	TINv17	C1	42	TINv42	A2	67	TINv67	C1	92	TINv92	A2
18	TINv18	C2	43	TINv43	A3	68	TINv68	C2	93	TINv93	A3
19	TINv19	D1	44	TINv44	A4	69	TINv69	D1	94	TINv94	A4
20	TINv20	D2	45	TINv45	B1	70	TINv70	D2	95	TINv95	B1
21	TINv21	A1	46	TINv46	B2	71	TINv71	A1	96	TINv96	B2
22	TINv22	A2	47	TINv47	C1	72	TINv72	A2	97	TINv97	C1
23	TINv23	A3	48	TINv48	C2	73	TINv73	A3	98	TINv98	C2
24	TINv24	A4	49	TINv49	D1	74	TINv74	A4	99	TINv99	D1
25	TINv25	B1	50	TINv50	D2	75	TINv75	B1	100	TINv100	D2

Примечание. № — номер варианта; файл — имя исходного файла; уч* — участок.

Распределение участков по вариантам отображено на рисунке 28.

Студент с индивидуальным шифром «65п-155» выполняет вариант 55. Использует файл с именем TINv55. Для расчета объемов земляных работ используется участок B1.



Координаты границ участков и контрольные точки представлены в конце исходного файла данных. Они не участвуют в построении цифровой модели рельефа.

3.4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

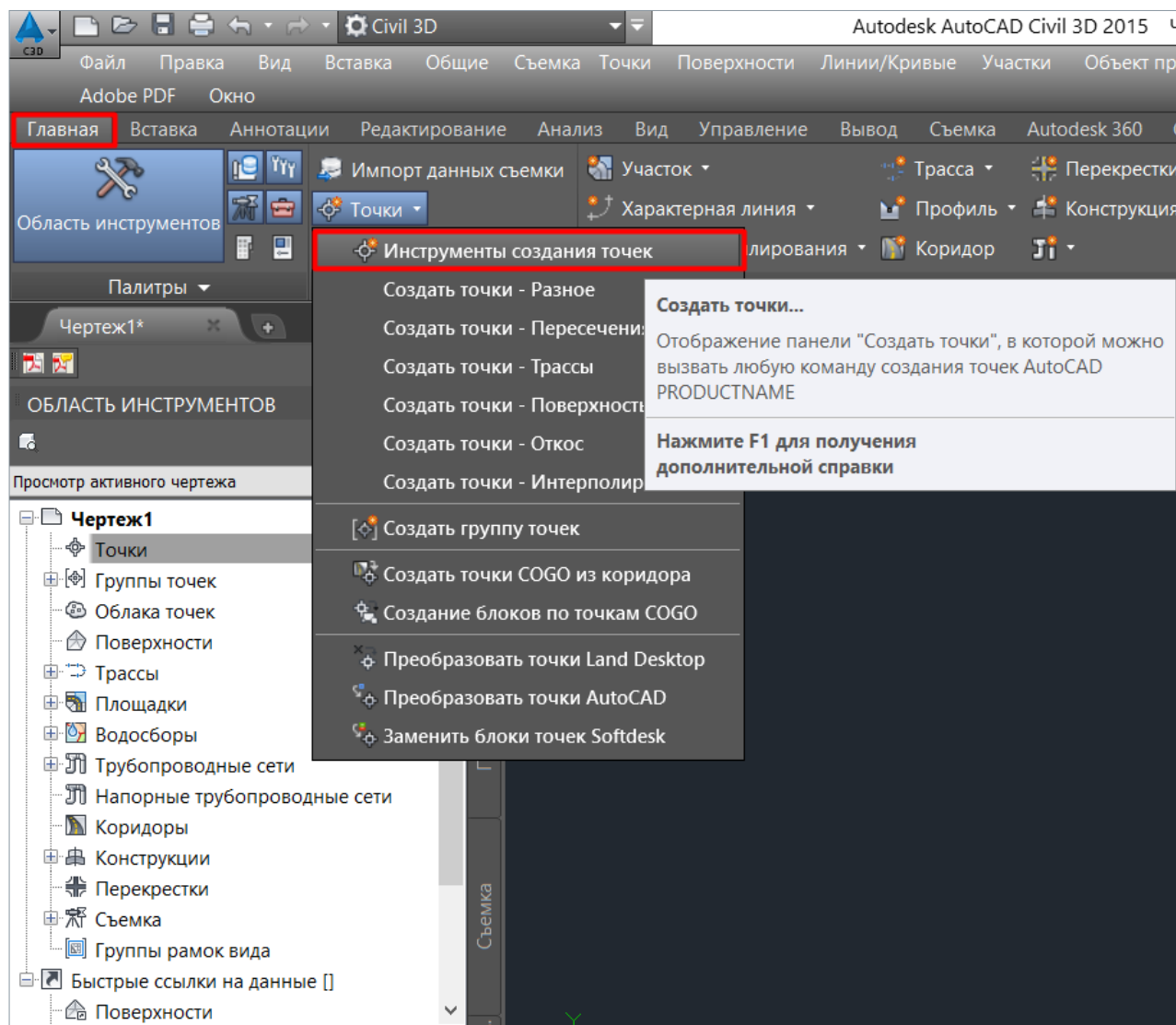
Работа может выполняться в AutoDesk Civil 3D или любом другом программном обеспечении.

Перед началом работы создайте 3 текстовых файла:

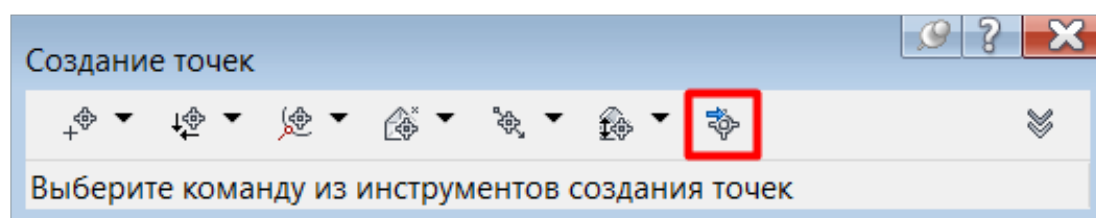
- первый файл с координатами поверхности;
- второй файл с контрольными точками;
- третий файл с границами участков.

Контрольные точки представлены в конце исходного файла данных.

После установки и запуска Civil 3D перейдите в окно «Главная». Для загрузки точек по варианту выберите «Точки» → «Инструменты создания точек» (рисунок 29).



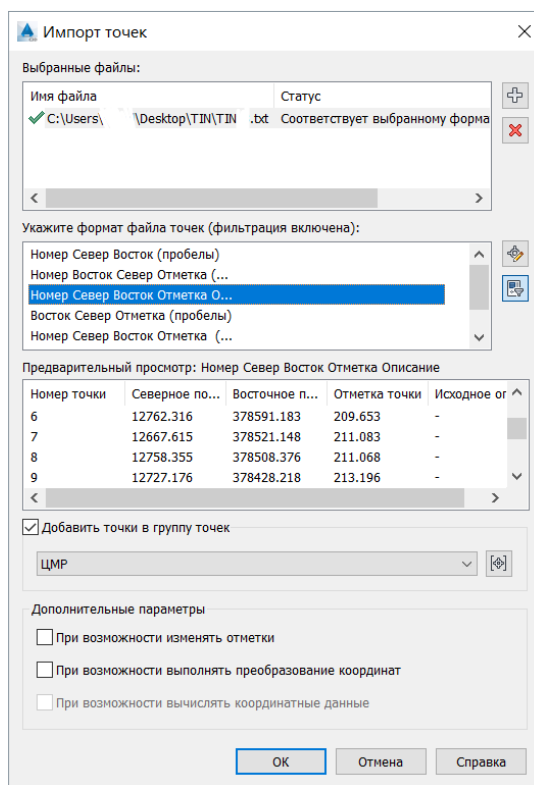
В открывшемся окне выберите «Импорт точек» (рисунок 30).



В открывшемся окне выполните загрузку исходного файла данных. Структура данных в файле соответствует следующему формату: Номер, Север, Восток, Отметка, Описание. При загрузке точек необходимо создать группу точек (рисунок 31).

РИС. 31

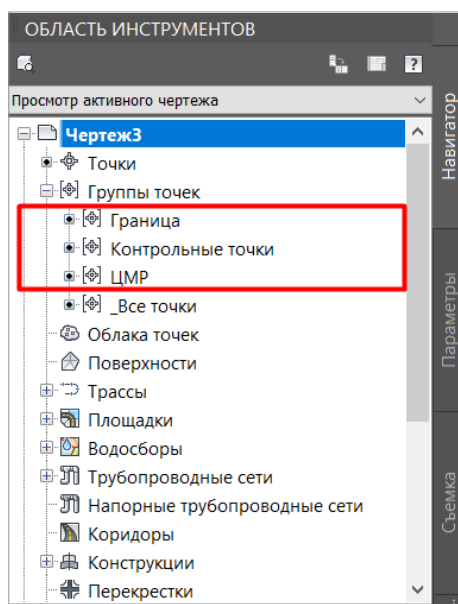
Загрузка точек в проект

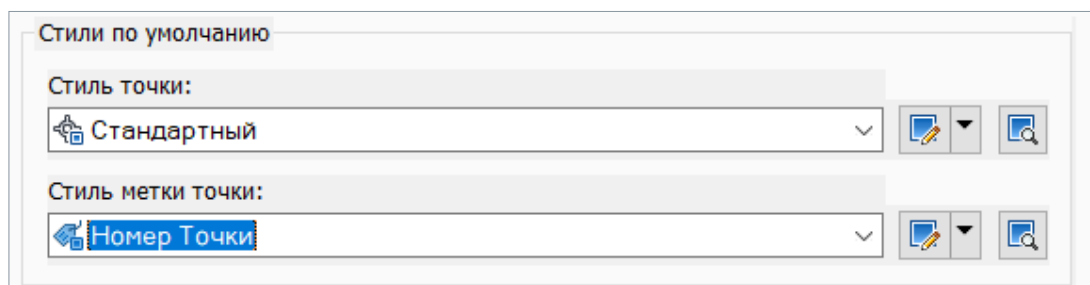


После загрузки точек в панели «Область инструментов» в пункте «Группы точек» будут отображены загруженные группы точек (рисунок 32). Для редактирования стиля группы точек нажмите на группу правой кнопкой мыши и выберите «Свойства». Сделайте каждую группу уникальной, редактируя ее стиль.

РИС. 32

Группы точек





Точки после редактирования представлены на рисунке 34, где красные точки — границы, зеленые — контрольные точки, белые — точки ЦМР.



Для того чтобы создать поверхность, нажмите «Поверхности» → «Создать поверхность» (рисунок 35). Задайте имя поверхности «Фактическая поверхность». Установите построение горизонталей через 0,5 м. Для добавления точек в поверхность и создания раскройте список вашей поверхности. Найдите «Группы точек» и добавьте группу ЦМР (рисунок 36).

После построения поверхности внимательно изучите ее. При автоматическом создании поверхности могут возникать различные ошибки. Подробную информацию об ошибках и их классификацию смотрите в теоретической части к данной работе. Пример ошибки построения горизонталей отображен на рисунке 37. Используя встроенные функции Civil 3D, такие как переставление ребра, сглаживание и упрощение поверхности и другие (рисунок 38), выполните редактирование всех возникших ошибок.

РИС. 35
Создание поверхности

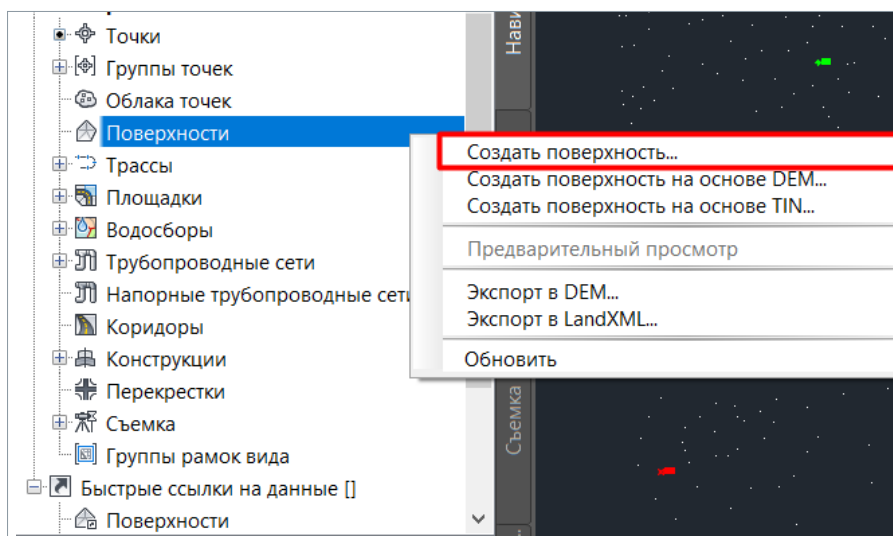


РИС. 36
Построение поверхности

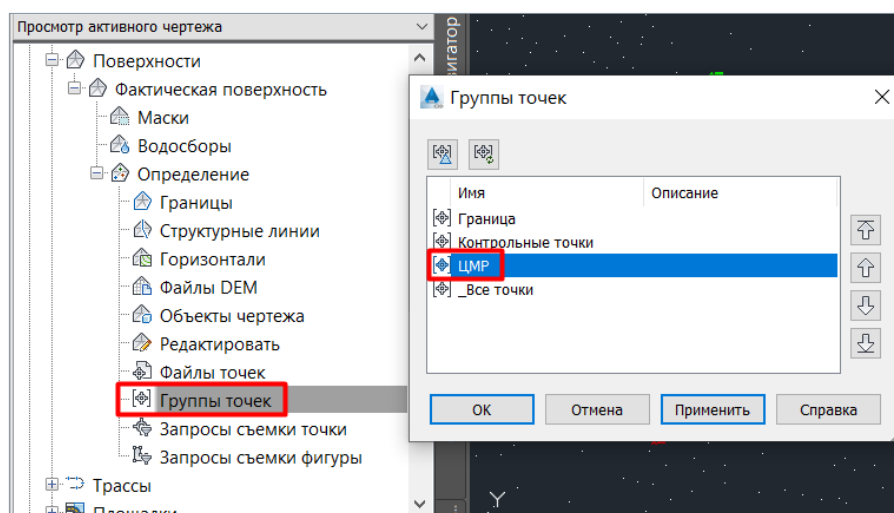
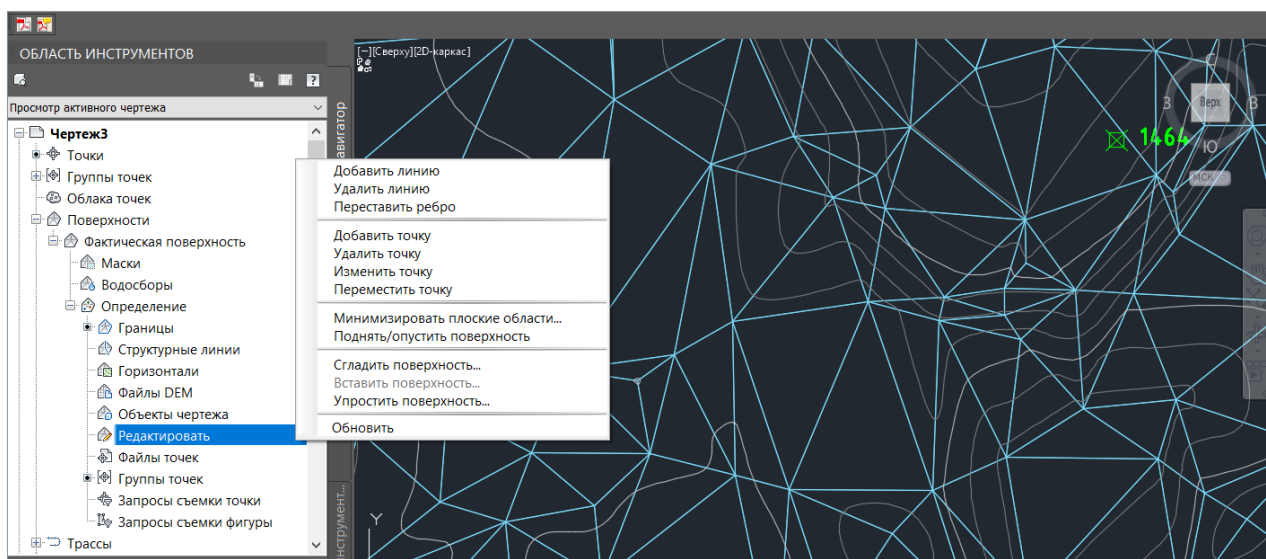


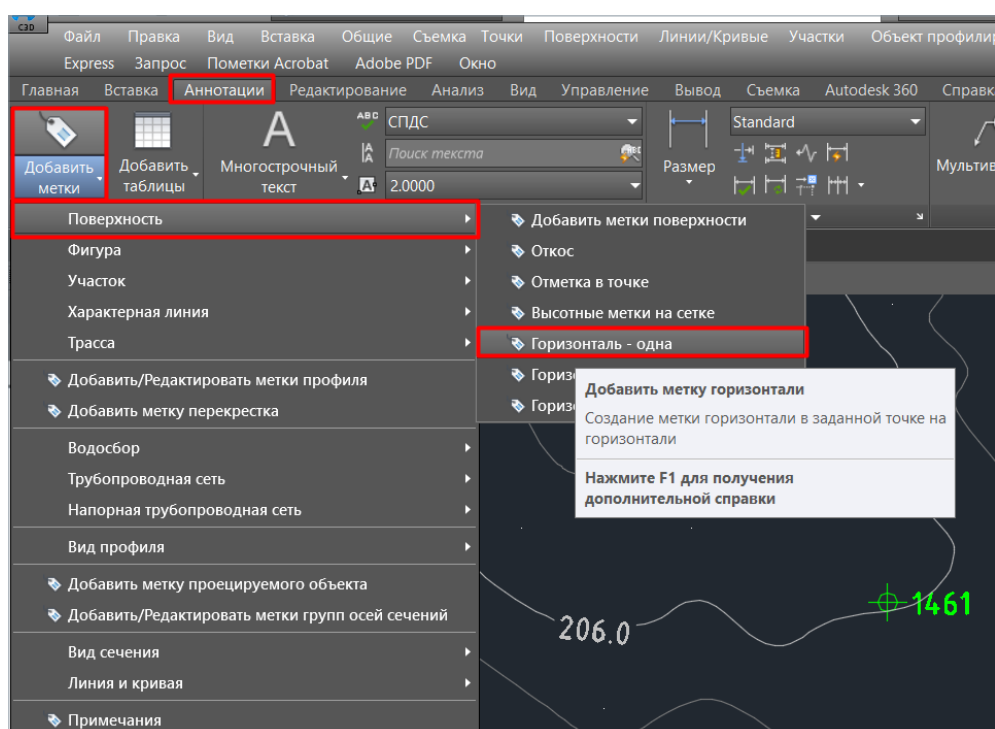
РИС. 37
Построение поверхности





Для редактирования методом перестановки ребер необходимо отобразить триангуляционную сеть путем редактирования стиля поверхности и включением отображения ребер (рисунок 38).

Для того чтобы подписать горизонтали, перейдите во вкладку «Аннотация». Нажмите «Добавить метки» → «Поверхность» → «Горизонталь одна» (для подписи одной горизонтали). Пример подписи продемонстрирован на рисунке 39.



После исправления ошибок и создания подписей выполните оценку точности построенной ЦМР. При выполнении топографических работ выполняют съемку дополнительных контрольных пикетов, которые используются для выполнения оценки точности. Перечень таких пикетов был подгружен с названием «Контрольные точки».

После построения ЦМР находят разность между высотой, снятой с ЦМР ($H_{цмр}$) и отметками земной поверхности (H_3), не участвующими в создании ЦМР по формуле:

$$\Delta H_i = H_{цмр, i} - H_{3, i} \tag{33}$$

Чтобы снять точное значение, наведите на область вблизи контрольной точки. На рисунке 40 продемонстрировано, что разница между контрольной точкой и отметкой фактической поверхности составляет 0,039 м. Для того, чтобы установить отображение до 4-го знака, как в примере, зайдите в «Область инструментов» → вкладка «Параметры». Нажмите правой кнопкой мыши на чертеже, в контекстном меню выберите «Редактировать параметры чертежа», перейдите во вкладку «Параметры среды» и найдите пункт «Отметка» и настройте нужную точность (рисунок 41).

РИС. 40
Отметка точки

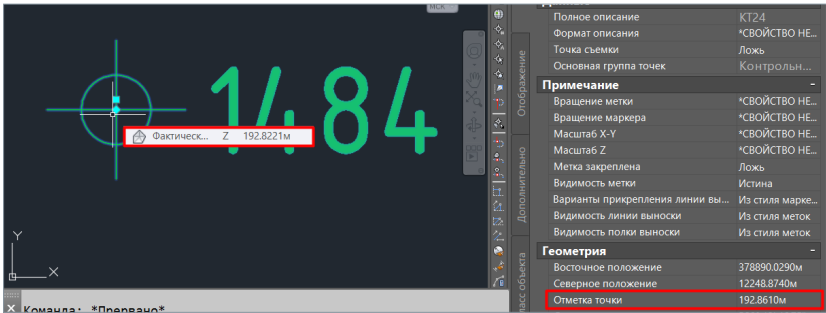
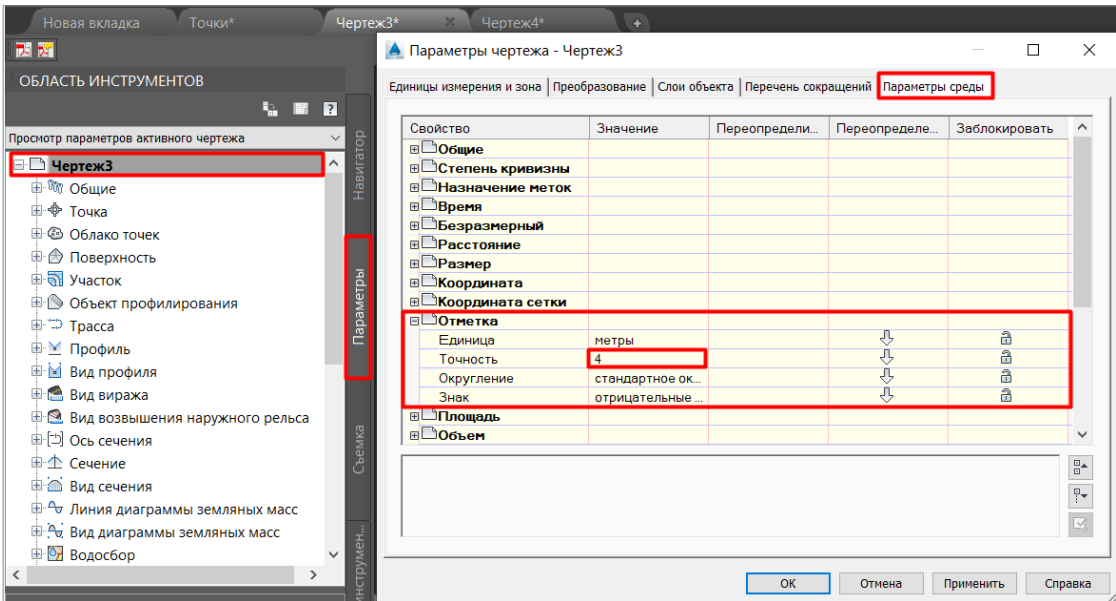


РИС. 41
Точность отметки



При обработке данных принимается модель ошибок, согласно которой разности высот ЦМР и поверхности земли рассматриваются в виде суммы систематической и случайной ошибок:

$$\Delta H_i = \Delta_H + \Delta h_i, \quad (34)$$

где Δ_H — систематическая ошибка;

Δh_i — случайная ошибка.

Систематическую ошибку можно вычислить по формуле:

$$\Delta_H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta H_i, \quad (35)$$

где n — количество точек.

Вычислите величину случайной ошибки Δh_i на каждом пункте, исходя из формулы (34):

$$\Delta h_i = \Delta H_i - \Delta_H. \quad (36)$$

Выполните расчет среднеквадратической ошибки:

$$m_{H_{\text{цмр}}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta h_i^2}. \quad (37)$$

Сравните полученные результаты с требованиями, представленными в приложении 5 приказа Минэкономразвития России от 06.06.2017 № 271 (ред. от 11.12.2017) «Об утверждении требований к государственным топографическим картам и государственным топографическим планам, включая требования к составу сведений, отображаемых на них, к условным обозначениям указанных сведений, требования к точности государственных топографических карт и государственных топографических планов, к формату их представления в электронной форме, требований к содержанию топографических карт, в том числе рельефных карт» (Зарегистрировано в Минюсте России 03.07.2017 № 47276) [3], и напишите вывод.

Используя функции «Полилиния» и «Граница», скройте с поверхности все водоемы (рисунок 42 и рисунок 43).

РИС. 42
Добавление границ

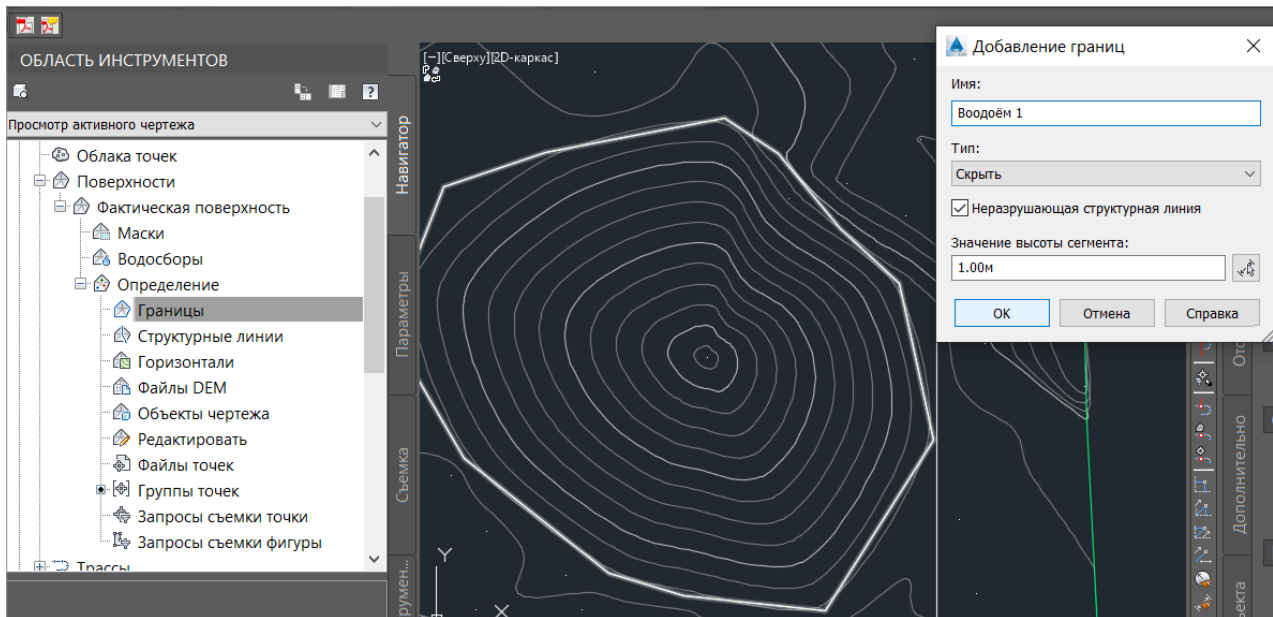
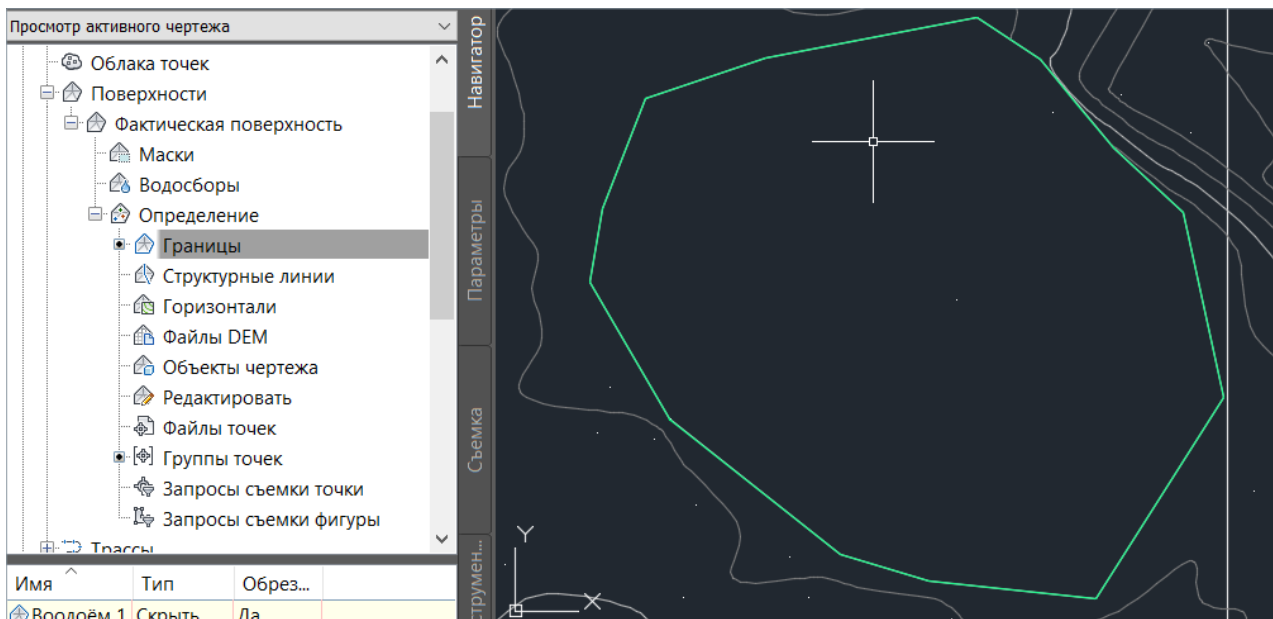


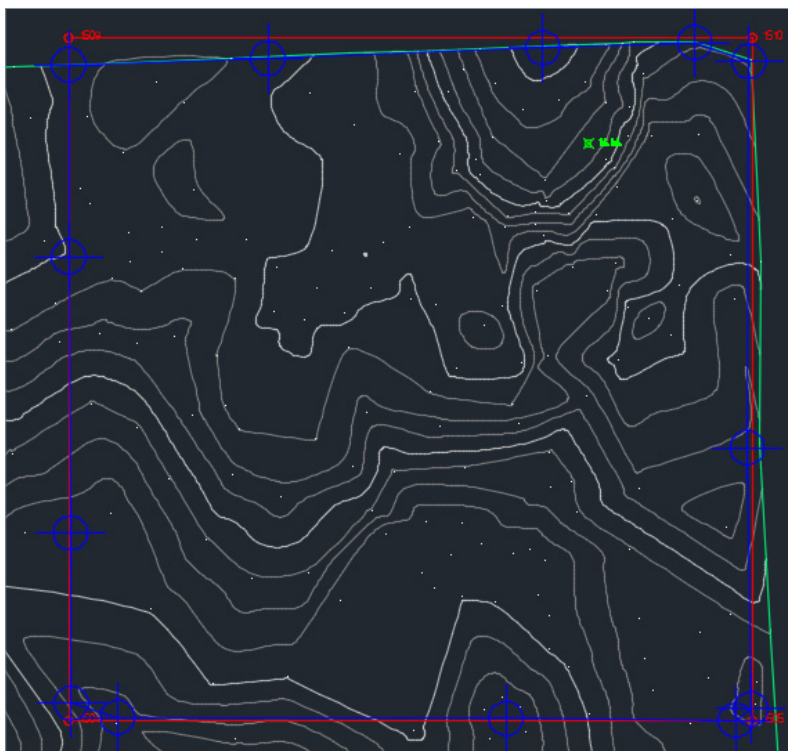
РИС. 43
Обрезание границ



Далее создаем проектную поверхность. Для ее создания воспользуемся инструментом создания точек. Высоту новых пикетов скальваем с самой ЦМР. Обводим точки полилинией (рисунок 44).

РИС. 44

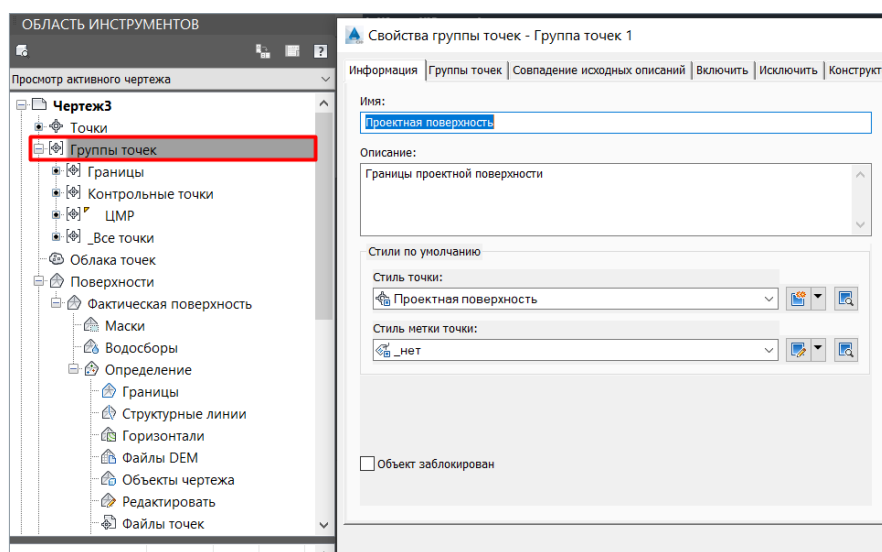
Новая граница, проектная

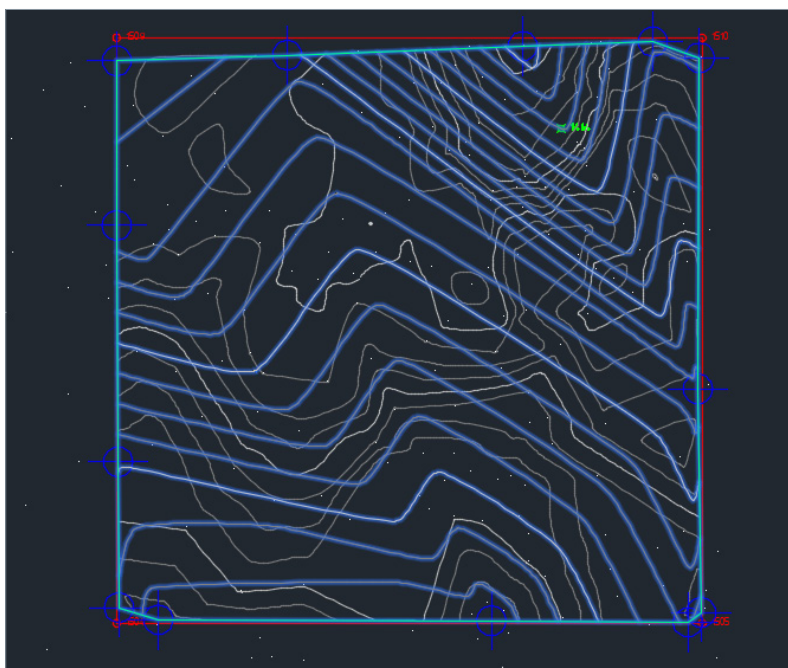
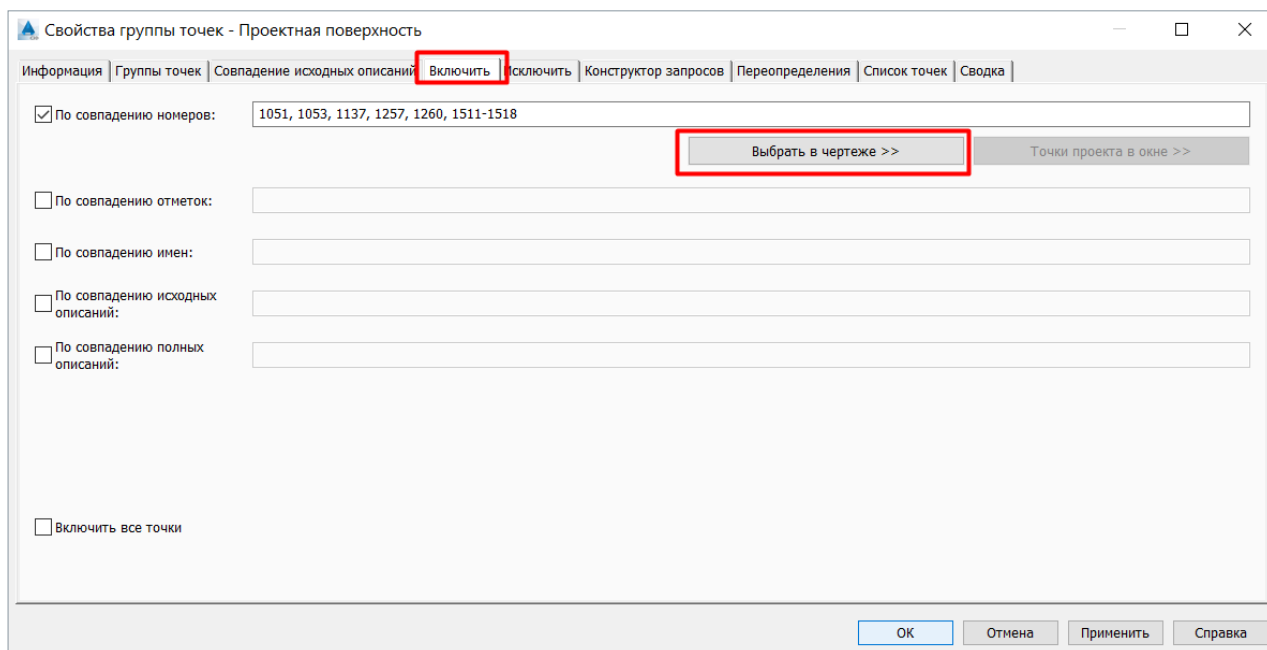


Создаем новую группу точек «Проектная поверхность» нажатием правой кнопки мыши (рисунок 45). После внесения всей необходимой информации перейдите во вкладку включить, активируйте флаг «По совпадению номеров» и выберите в чертеже созданные пункты. После этого нажмите «ОК» (рисунок 46). Создайте новую поверхность и присвойте ей имя «Проектная поверхность». Добавьте в нее новую группу точек. Используя функцию «Граница», отобразите фактическую поверхность по проектной границе (рисунок 47).

РИС. 45

Создание новой группы точек

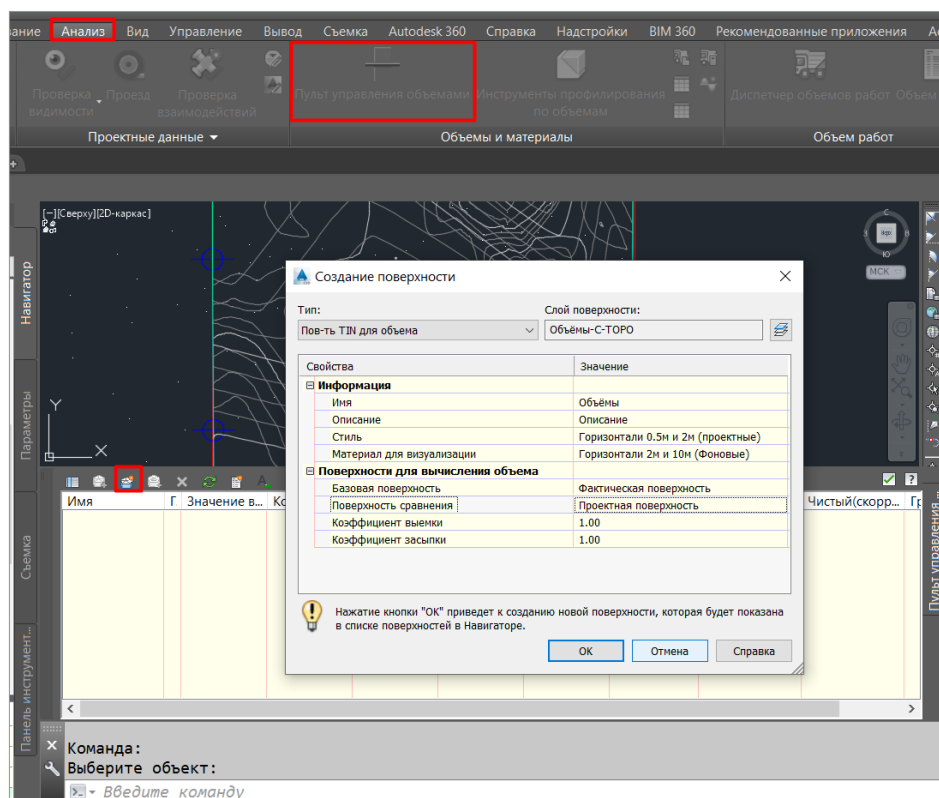




Переходим во вкладку «Анализ». Выбираем «Пульт управления объемами». Нажимаем «Создать новую поверхность для вычисления объема». Задаем имя поверхности и поверхности для вычисления объемов (рисунок 48).

РИС. 48

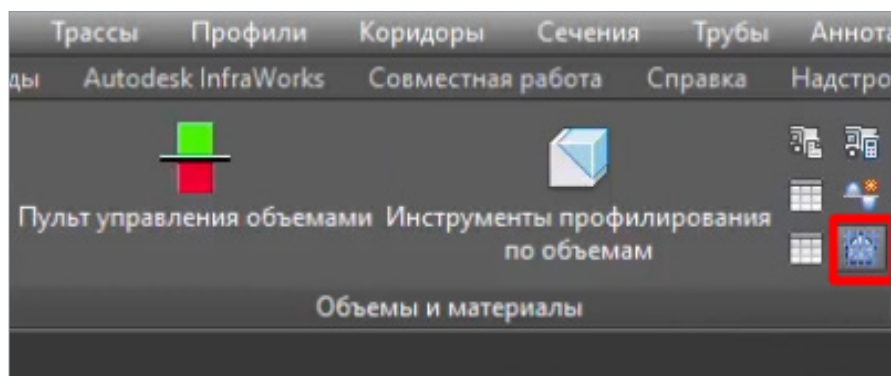
Созданная проектная поверхность



Далее переходим в меню «Создание плана земляных работ» (доступно с версии Civil 3D 2019) — рисунок 49. Выбираем «Существующую» и «Обработанную» поверхность и получаем картограмму земляных работ. Подробнее о создании картограмм земляных работ можно [узнать по ссылке](#). По завершению работы будет доступна картограмма, отображенная на рисунке 50.

РИС. 49

Создание плана земляных работ





3.5 ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

Цифровая модель рельефа (ЦМР) — средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов как высотных отметок, отметок глубин или иных значений аппликата в узлах регулярной сетки с образованием матрицы высот (GRID), нерегулярной треугольной сети (Triangulated Irregular Network, TIN), или совокупности записей горизонталей (изогипс, изобат) или иных изолиний. В зарубежной научно-технической литературе отечественному термину ЦМР соответствует несколько терминов. Первый из них DEM. Дословно — «Цифровая модель высоты» (от англ. Digital Elevation Model). В зарубежной научно-технической литературе данный термин часто применяется для моделей, построенных методом GRID. Второй термин, эквивалентный понятию ЦМР, — DTM. Дословно «Цифровая модель рельефа местности» (от англ. Digital Terrain Models). DTM — это набор векторных данных, состоящий из равномерно расположенных точек с заданными высотами и дополнительных построений (структурные линии, границы моделей, горизонталы). Данный термин также встречается в понимании цифровой модели местности (ЦММ), на которой кроме рельефа отображается еще и ситуация.

TIN — это метод построения модели ЦМР с применением нерегулярной триангуляционной сети, выполненной в виде системы неперекрывающихся треугольников, соответствующих триангуляции Делоне. Принцип построения модели отображен на рисунке 51. Вершинами треугольников являются опорные точки. Геометрия TIN состоит из граней, узлов и ребер:

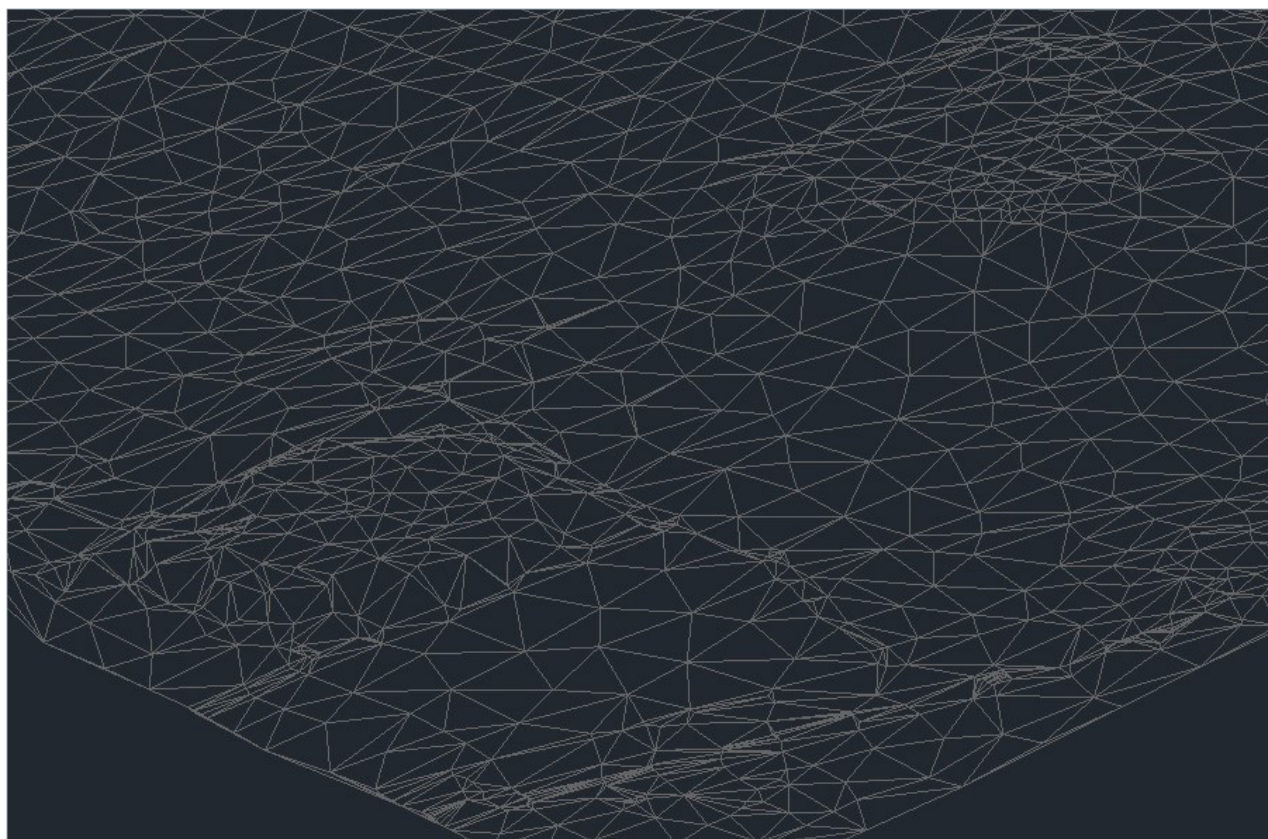
- **грань** — поверхность треугольника в трехмерном пространстве;
- **узел** — вершина треугольника с координатами X, Y, Z ;
- **ребро** — сторона треугольника.

Триангуляция Делоне — треугольная полигональная сеть, образованная множеством дискретно расположенных точек, соединенных между собой непересекающимися отрезками прямых линий таким образом, что описанная вокруг каждого треугольника окружность не содержит внутри себя точек исходного множества.

Преимуществом TIN модели является отсутствие преобразований исходных данных. Это незначительно ухудшает детализацию построенной модели рельефа, однако потребитель данного метода может быть уверен, что в этой модели нет ошибок, вызванных неверной интерполяцией.

РИС. 51

Построение триангуляционной модели высот

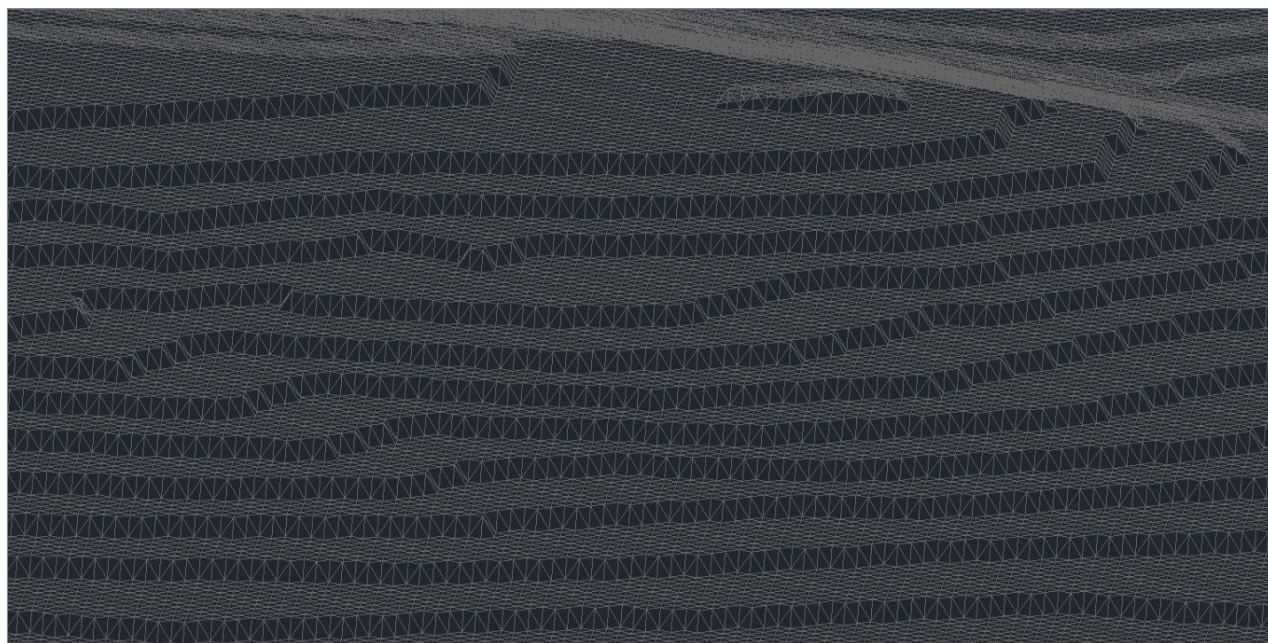


Метод GRID — это метод формирования модели рельефа в форме регулярной сетки (в плане) с заданными в каждом узле значениями высот. Модель GRID формируется путем интерполяции высот для узлов сетки по высотам опорных точек. Размеры сетки задаются

в соответствии с требованиями точности конкретной решаемой задачи. Улучшением GRID является метод TGRID (Triangulated GRID), при котором создаваемая модель сочетает в себе элементы поверхности, построенной обоими методами. Такая модель позволяет использовать дополнительные данные для описания сложных форм рельефа (обрывы, скальные выступы).

Модели, построенные методом GRID, используются для моделирования рельефа и батиметрических поверхностей (рисунок 52). У GRID есть несколько преимуществ по сравнению с другими типами моделей рельефа. Для создания ЦМР необходимо знать плановые координаты только одного пункта, а для ориентации — двух. Это уменьшает время при обработке данных аэрофотосъемки, а также минимизирует размеры выходного файла.

РИС. 52
Модель GRID



Выделяют два типа построения регулярной сетки — ортогональная сетка высот и сетка высот в секундах дуги [3].

Ортогональная сетка высот — модель рельефа с ортогональной сеткой, в которой узлы сетки представляют собой пересечения прямых параллельных осей «х» и прямых параллельных осей «у», проведенных с заданной равной дискретностью ($\Delta x = \Delta y$). Расстояние между линиями ($\Delta x = \Delta y$) могут сильно варьироваться в зависимости от конкретной реализации метода, используемой системы координат, формата данных и многого другого. Самой простой реализацией является сетка в декартовых координатах.

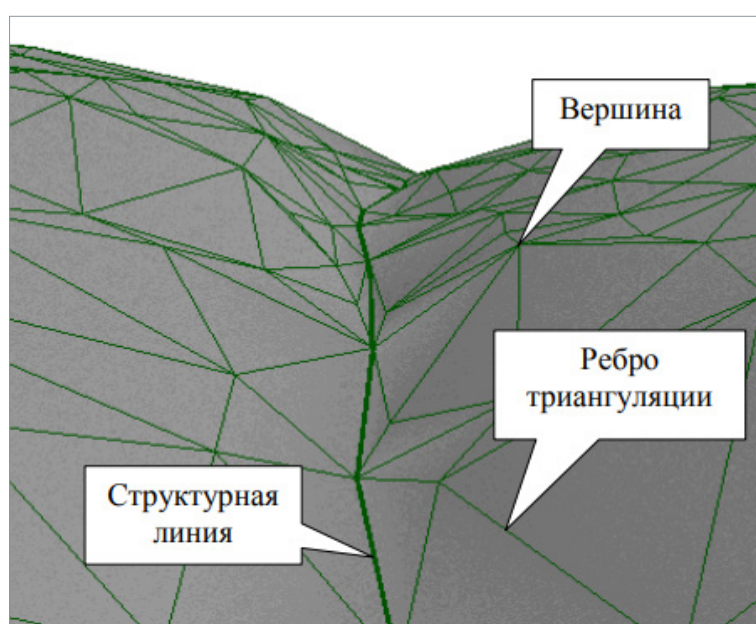
Сетка в секундах дуги (или в геодезических координатах) отличается от ортогональной сетки в том, что узлами являются пересечения параллелей и меридианов (расстояния между точками зависит от широты и долготы точек). Из-за этого возникают сложности при аппроксимации расстояния в линейную меру.

Для контроля ЦМР при наличии водоразделов и небольших рек в Civil 3D могут использоваться структурные линии.

«Структурная линия» (от англ. Breaklines) используется для представления резкого изменения формы рельефа (талвегов, водоразделов, рек, дорог, канав, участков планировки территории и т. д.) при построении TIN (рисунок 53). Структурные линии необходимы для создания точной модели поверхности, так как форма модели определяется не только непосредственно данными, но и посредством интерполяции данных. При наличии структурных линий триангуляция поверхности принудительно выполняется вдоль структурной линии, так как ребра триангуляции не могут пересекать структурную линию.

РИС. 53

Отображение структурной линии



Создание горизонталей — простая, хорошо известная вычислительная операция, которая используется при создании топографических карт и планов.

Процесс создания горизонталей с использованием модели TIN должен включать в себя создание контуров и ряда процедур по интерполированию высот и сглаживанию итоговых результатов. При создании горизонталей по модели TIN выполняется линейная интерполяция по каждому ребру, соединяющему 2 вершины. При редактировании поверхности и изменении смежного ребра двух треугольников, вершины ребра, расстояние и, следовательно, интерполированное положение точки, через которую будут проходить горизонталь, будет меняться. Данный прием позволяет устранять ошибки при построении рельефа. Его реализация продемонстрирована на рисунках 54 и 55.

Помимо точек земной поверхности, в процесс создания TIN также включаются такие элементы, как настилы, русла рек, крупные водоемы (пруды, озера и водохранилища). Эти элементы необходимы при создании горизонталей, но могут негативно повлиять на целостность поверхности.

РИС. 54

Ребро и горизонтали до изменения



РИС. 55

Ребро и горизонтали после изменения



Для построения горизонталей по модели GRID выполняется интерполяция исходных данных одним из возможных методов. Наиболее распространенными методами являются:

- **билинейная интерполяция** — метод, при котором исходные точки данных соединяются сетью линий для построения прямолинейной сетки. Интерполяция выполняется по четырем точкам;
- **метод обратных взвешенных расстояний** — исходные точки, лежащие в пределах заданного радиуса узла сетки, получают вес в соответствии с их расстоянием от узла, а затем усредняются для вычисления нового значения ячейки;
- **кригинг** — геостатистическая интерполяция, которая учитывает расстояние и степень вариации между известными точками при оценке значений в неизвестных областях;
- **сплайн-интерполяция** — расчет значений на основе математической функции. Она минимизирует кривизну поверхности и вычисляет наиболее подходящую поверхность, которая проходит через все точки измерений.

На рисунке 56 приведен пример выполненной интерполяции исходных данных и получения сетки с шагом 1×1 м. На рисунке 57 показан принцип построения горизонталей

по интерполированной поверхности. На рисунке 58 приведены горизонталы. Обработка данных выполнялась в программном комплексе Civil 3D.

РИС. 56

Сетка с шагом 1х1 м

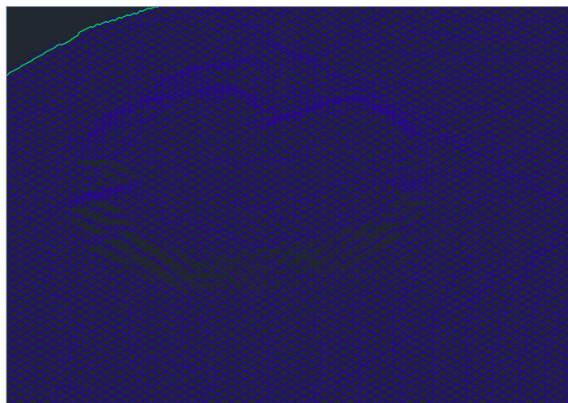


РИС. 57

Принцип построения горизонталей по сетке

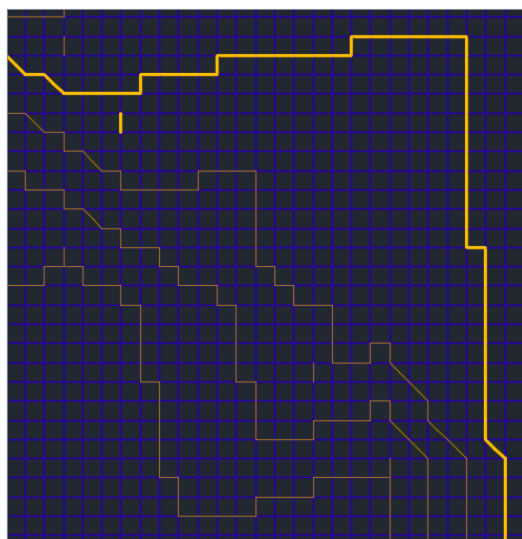
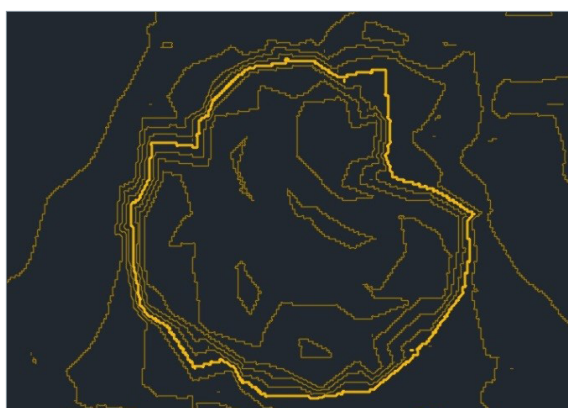


РИС. 58

Горизонталы построенные по DEM поверхности



После создания горизонталей могут возникать нежелательные линейные отображения. Типичные ошибки построения включают контуры без соединений с обеих сторон, контуры, представляющие соединительные элементы, которые не влияют на продолжение горизонталей и пересечения контуров.

Эти проблемы необходимо выявлять и устранять шаг за шагом. Проверки на наличие ошибок необходимо повторять несколько раз, поскольку исправление одного вида ошибок может привести к возникновению другого, особенно это касается программ с гибкой настройкой и автоматическим исправлением таких ошибок. Обработка таких ошибочных горизонталей сосредоточена на выявлении и удалении контуров, из-за которых они появились.

Классификация ошибок отображена на рисунке 59. На рисунке 60 отображена исправленная поверхность.

РИС. 59

Поверхность до исправления

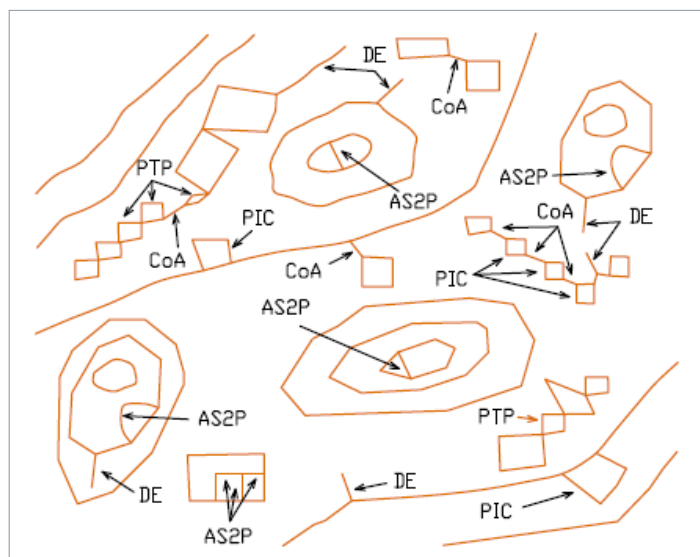


РИС. 60

Поверхность после исправления

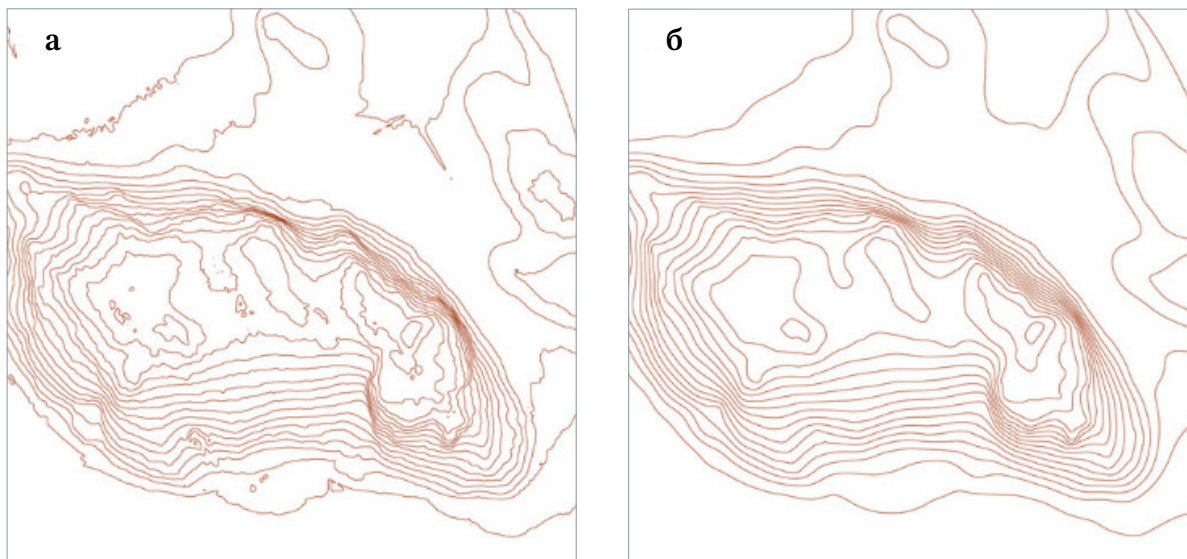


Классификация ошибок [4]

1. Ошибки, связанные с образованием дуг:
 - **Dangle-Arc (DNG)** — дуга, которая хотя бы на одном конце не соединена с другой дугой;
 - **DeadEnd-Arc (DE)** — висячая дуга, где не задана связь внутри границ набора данных;
 - **ArcShares2Polygons-Arc (AS2P)** — дуга, создающая два полигона одной и той же высоты;
 - **PolygonInContour-Arc (PIC)** — длинная дуга, состоящая из двух дуг, образующая многоугольник и поэтому может вызвать путаницу при ее интерпретации;
 - **PolygonTouchPolygon-Arc (PTP)** — длинная дуга, состоящая из двух дуг, образующих многоугольник, который соединен с другим многоугольником;
 - **Connection-Arc (CoA)** — дуга, которая соединяет два или более многоугольника с незамкнутой линией контура и не способствует продолжению линии контура.
2. Ошибки, связанные с образованием лишних узлов:
 - **Dangle-Node (DNG)** — узел, в котором дуга не соединена с другой дугой;
 - **DeadEnd-Node (DE)** — висячий узел, в котором дуга не соединена с другой дугой;
 - **MultiArcConnection-Node (MAC)** — узел, в котором соединено более двух дуг;
 - **ClosedArc-Node (ClA)** — узел, представленный замкнутой дугой.

Внешний вид и качество горизонталей сильно зависят от входных данных. Следовательно, требуется высококачественная ЦМР, обработанная с соответствующим размером сетки. Разрешение моделей определяет уровень детализации поверхности и влияет на внешний вид выходных горизонталей. Например, большой размер матрицы высот может привести к грубым, блочным горизонталям. При построении GRID поверхности важным этапом является выполнение дедетализации (снижение детализации для улучшения визуального восприятия) или «сглаживания» горизонталей. Пример такого процесса приведен на рисунке 61.

Пример детализации горизонталей: а) Горизонтали до детализации;
б) Сглаженные горизонталы после обработки



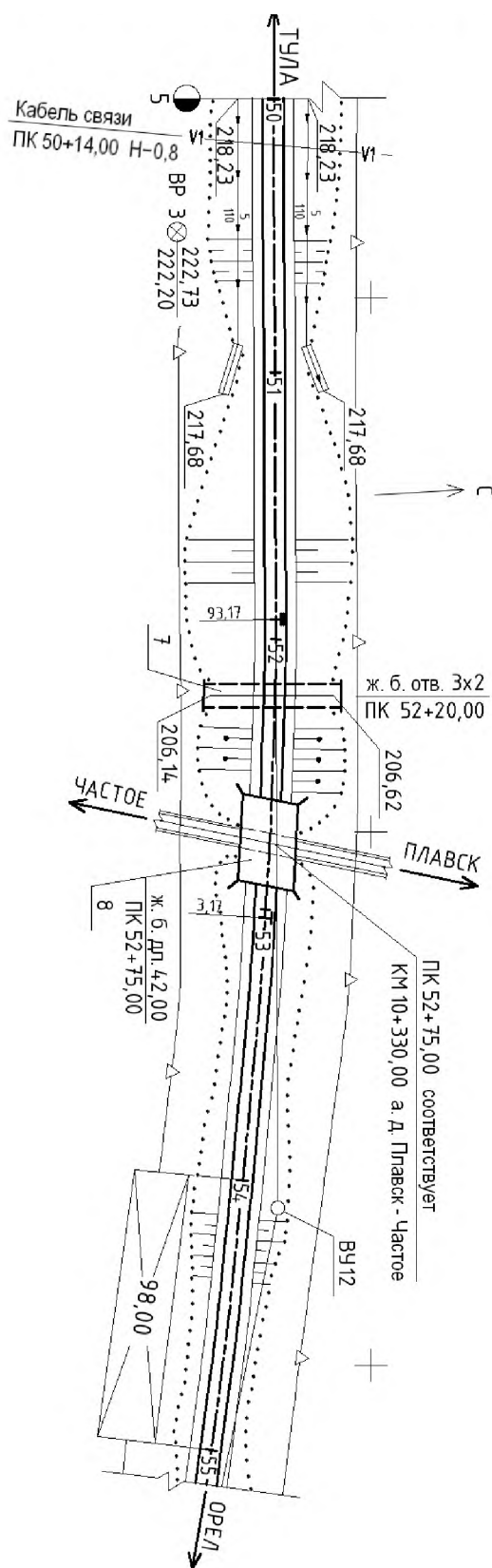
3.6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАДАНИЮ 2

1. Что такое TIN и GRID?
2. Назовите 5 видов программного обеспечения, которое позволяет создать TIN поверхность.
3. Что используется для создания рек, тальвегов, водоразделов и других объектов на ЦМР?
4. Какие ошибки построения горизонталей, исходя из их классификации, были в вашем варианте при создании рельефа?
5. Как работает метод «Сгладить поверхность» в Civil 3D при редактировании ЦМР?
6. Как выполнить преобразование TIN модели в модель GRID средствами Civil 3D? Опишите данный алгоритм, используя свой вариант. Добавьте в материалы отчета результаты построенной GRID поверхности вашего участка.
7. Зачем нужна функция «Горизонталы» при создании ЦМР в Civil 3D? Что она позволяет сделать?

Литература

1. Приказ № 383 от 28 июля 2017 г. Министерства экономического развития Российской Федерации «Об утверждении Порядка установления местных систем координат». Регистрационный номер 47932 от 24 августа 2017 года
2. Тревого И.С., Шевчук П.М. Городская полигонометрия. — М.: Недра, 1986. — 199с.
3. Guidelines for Digital Elevation Data, Version 1.0 // National Digital Elevation Program (NDEP) May 10, 2004 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://giscenter.isu.edu/pdf/NDEPElevationGuidelinesVer1.pdf>.
4. Hiremath, Shivarudrayy & Kodge, B.G.. (2011). Generating contour lines using different elevation data file formats. Computing Research Repository — CORR. 3.
5. Калугин В.В., Маркелова Е.Ю. камеральное трассирование и проектирование автомобильной дороги.
6. ГОСТ Р. 52398-2005. Техническая классификация автомобильных дорог общего пользования / Государственная дорожная служба Министерства транспорта Российской Федерации //Москва. — 2005.
7. ГОСТ 33475–2015. Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. — М.: Стандартиформ, 2016. — 15 с.
8. ОДМ 218.2.101-2019 «Методические рекомендации по проектированию элементов плана, продольного и поперечного профиля автомобильных дорог» от 29.07.2019 № 1984-р. // РОСАВТОДОР. 2019 [ODM 218.2.101-2019 “Guidelines for the design of plan elements, longitudinal and transverse profile of highways” dated July 29, 2019 No. 1984-r. // ROSAVTODOR. 2019].
9. СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги». Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. № 266).
10. Зуева Л.Ф., Синякина Н.В. Методические указания для выполнения контрольных работ по дисциплине «Инженерная геодезия» для студентов заочного факультета специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство». — 2012.

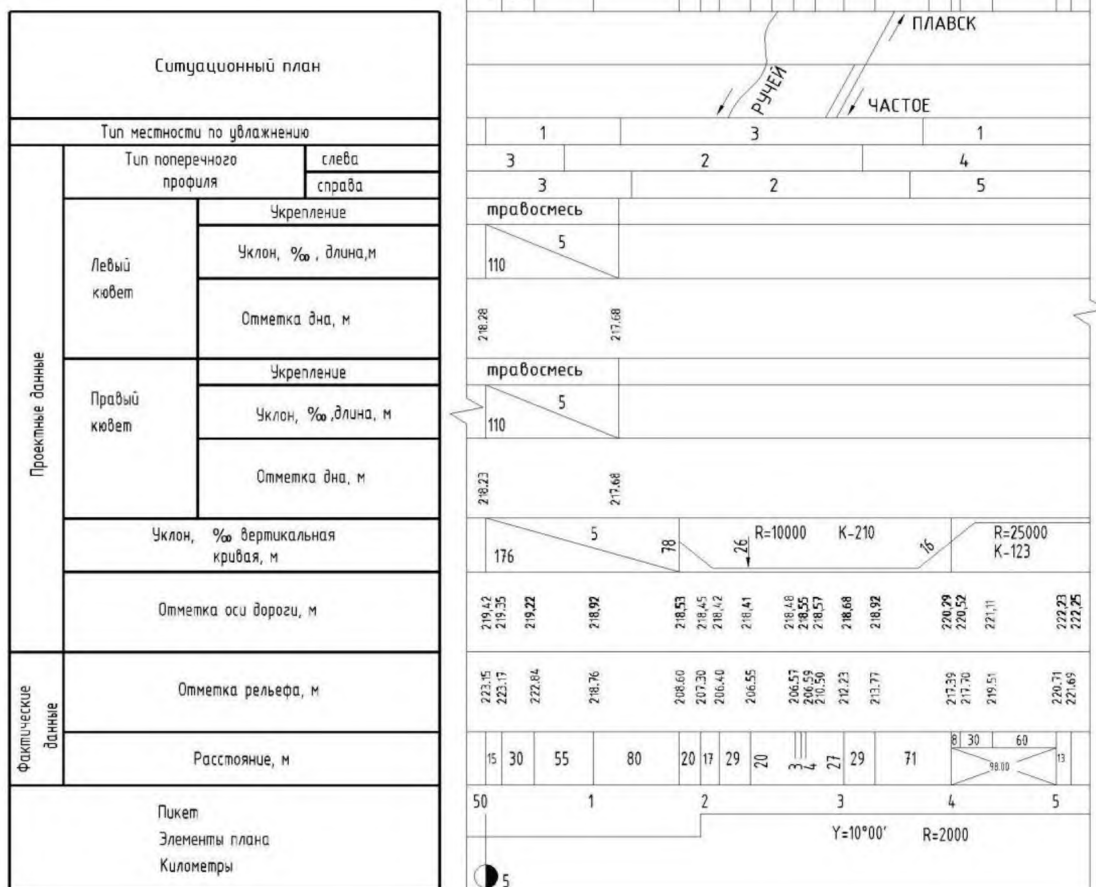
Пример оформления плана автомобильной дороги на незастроенной территории ГОСТ 21.701—2013



Пример оформления продольного профиля трассы

Номер ИГЭ	Группа грунта	Наименование грунта
1	33а	суглинок легкий
2	33б	суглинок тяжелый

М 1:5000 — по горизонтали
М 1:500 — по вертикали
М 1:100 — по вертикали — грунты

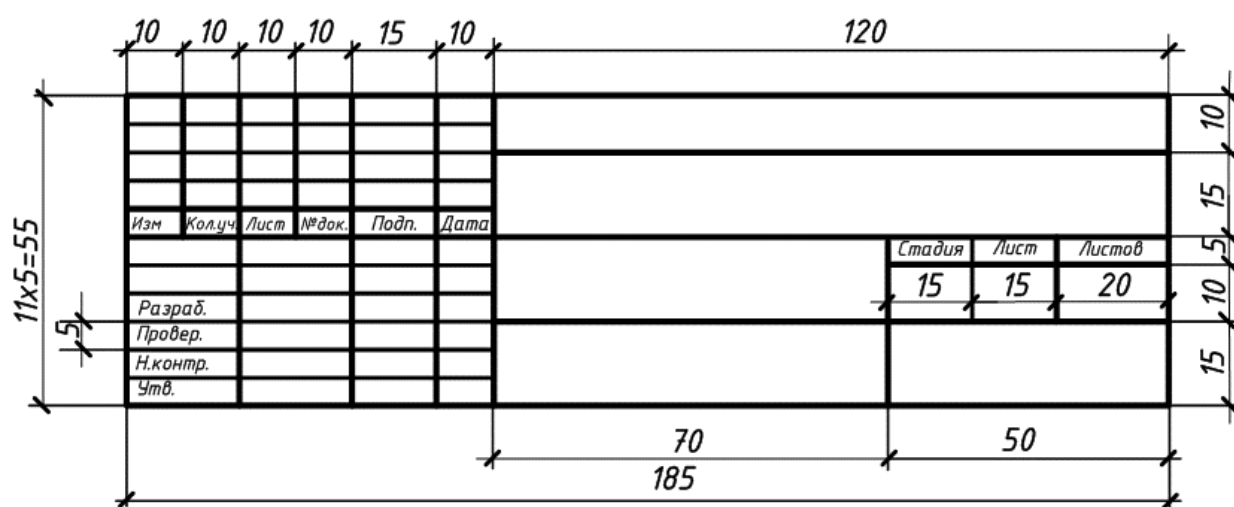


Боковик продольного профиля дороги на незастроенной территории

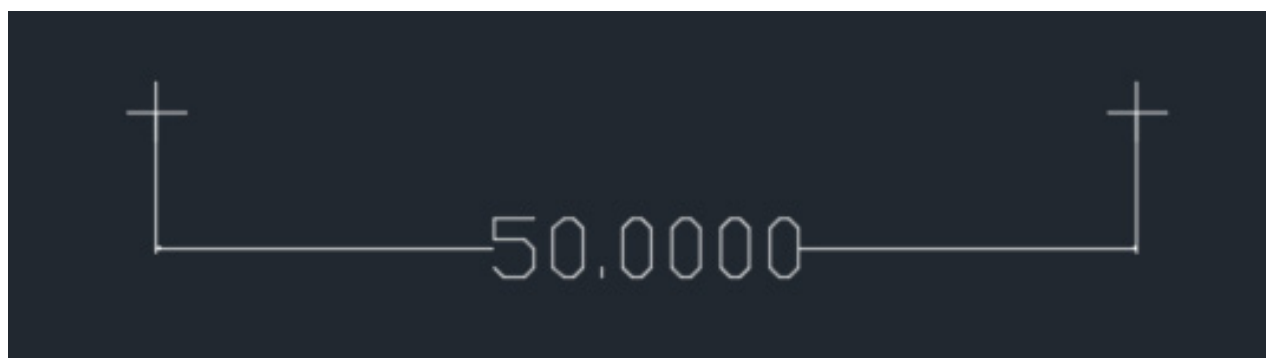
Ситуационный план			20
Тип местности по увлажнению *			8
Проектные данные	Тип поперечного профиля	слева	8
		справа	8
	Левый кювет	Укрепление	8
		Уклон, ‰; длина, м	10
		Отметка дна, м	15
	Правый кювет	Укрепление	8
		Уклон, ‰; длина, м	10
		Отметка дна, м	15
	Уклон, ‰; вертикальная кривая, м		10
	Отметка оси дороги, м		15
Фактические данные	Отметка рельефа, м		15
	Расстояние, м		10
Пикет, элементы плана, километры			20
10	45	20	75

* Графу приводят при необходимости.

Штамп при оформлении рамки



Расстояние между крестами



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК)

Заочный факультет

Кафедра Прикладной геодезии

Контрольная работа

по курсу

«Технологии автоматизированной обработки геодезических измерений»

Работы выполнил:

Студент: _____
ФИО

Шифр: _____

Специальность: _____

Москва 20__г.