

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ИЗЫСКАНИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

*Марина Геннадьевна Успеньева*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, инженер кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: kaf.igmd@ssga.ru

*Андрей Михайлович Астапов*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, обучающийся, тел. (383)343-29-55, e-mail: kaf.igmd@ssga.ru

При строительстве нефтегазопроводов необходим комплекс инженерно-геодезических работ для обеспечения геометрических параметров запроектированных трасс во время их прокладки. Поэтому разработка новых методик выполнения инженерно-геодезических работ для трассирования линейных сооружений с применением современных приборов является актуальной задачей. Целью настоящих исследований является проведение анализа современной методики выполнения инженерно-геодезических работ для изыскания и строительства трассы магистрального газопровода. Объектом исследований является трасса магистрального газопровода «Айхал–Удачный». Выполнена апробация методики выполнения инженерно-геодезических работ при изыскании магистрального газопровода «Айхал–Удачный» и дан анализ полученных результатов.

**Ключевые слова:** линейные изыскания, ГНСС технологии, трассирование линейных сооружений.

## **APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES OF ENGINEERING AND GEODESIC WORKS FOR SURVEYING OF MAIN GAS PIPELINES**

*Marina G. Uspeneva*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, engineer of the department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: kaf.igmd@ssga.ru

*Andrej M. Astapov*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (383)343-29-55, e-mail: kaf.igmd@ssga.ru

During the construction of oil and gas pipelines, a complex of engineering and geodetic works is necessary to ensure the geometric parameters of the designed routes during their laying. Therefore, the development of new methods for performing engineering and geodetic works for tracing linear structures using modern instruments is an urgent task. The purpose of this research is to analyze the modern methodology for the implementation of engineering and geodetic works for surveying and construction of the gas pipeline. The object of surveying is the route of the main gas pipeline «Aikhal-Udachny». The approbation of the methodology for performing engineering and geodetic works surveying for the «Aikhal-Udachny» gas pipeline was carried out and an analysis of the results was given.

**Key words:** linear surveys, GNSS technologies, tracing of linear structures.

## *Введение*

Инженерные изыскания являются обязательной составляющей строительной деятельности, и обеспечивают комплексное изучение природных условий территории строительства, а также факторов техногенного воздействия на процесс изысканий и строительства для решения следующих основных задач:

- установление функциональных зон и определение планируемого размещения объектов при территориальном планировании;
- выделения элементов планировочной структуры территории и установление границ земельных участков, на которых предполагается расположить объекты капитального строительства, включая линейные сооружения;
- определение возможности строительства объекта;
- выбор оптимального места размещения площадок (трасс) строительства;
- принятия конструктивных и объемно-планировочных решений;
- анализ прогноза изменений природных условий;
- разработка мероприятий инженерной защиты от опасных природных процессов;
- ведение государственного фонда материалов изысканий и данных инженерных изысканий и формирования информационных систем обеспечения градостроительной деятельности всех уровней [1, 2].

Состав инженерно-геодезических изысканий для линейных объектов включает:

- сбор и обработку материалов инженерных изысканий прошлых лет, топографо-геодезических, картографических, аэрофотосъемочных и других материалов и данных;
- рекогносцировочное обследование территории изысканий;
- создание (развитие) опорных геодезических сетей (плановых сетей 3 и 4 классов и сетей сгущения 1 и 2 разрядов, нивелирной сети II, III и IV классов), а также геодезических сетей специального назначения для строительства;
- создание планово-высотных съемочных геодезических сетей;
- топографическую съемку в масштабах 1:10 000–1:200, включая съемку подземных и надземных сооружений;
- камеральное трассирование и предварительный выбор конкурентоспособных вариантов трассы для выполнения полевых работ и обследований;
- полевое трассирование;
- съемки существующих железных и автомобильных дорог, составление продольных и поперечных профилей, пересечений линий электропередачи (ЛЭП), линий связи (ЛС), объектов радиосвязи, радиорелейных линий и магистральных трубопроводов;
- координирование основных элементов сооружений и наружные обмеры зданий (сооружений) [3, 4].

## Методы и материалы

Рассмотрим на примере трассы магистрального газопровода «Айхал–Удачный» современную методику выполнения инженерно-геодезических изысканий.

Объект работ расположен в Республике Саха (Якутия), Мирнинский район, п. Айхал, г. Удачный, вдоль автомобильной дороги «Айхал–Удачный» (рис. 1).



Рис. 1. Географическое расположение объекта

Цель изысканий:

- закладка пунктов долговременного закрепления вдоль проектируемой трассы;
- создание плановой и высотной опорной геодезической сети;
- создание инженерно-топографического плана масштаба 1:1 000;
- создание инженерно-топографических планов масштаба 1:500 на участках перехода через природные преграды и в местах пересечения с автодорогами;
- получение актуальных топографо-геодезических материалов для разработки проектной документации по объекту

На территорию изысканий имеются топографические карты масштабов 1:10 000–1:200 000, которые составлялись Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР. Исходная геодезическая сеть в районе работ представлена пунктами триангуляции (2 и 3 классов).

До начала полевых работ на объекте был произведен сбор данных топографо-геодезической изученности и материалов изысканий прошлых лет. Изыскания проводятся вдоль существующей автомобильной дороги «Айхал–Удачный» (рис. 2).



Рис. 2. Вид на автодорогу пос. Айхал – г. Удачный

Поселок Айхал и город Удачный в административном отношении относятся к Мирнинскому району Республики Саха (Якутия) с районным центром г. Мирный.

Климат региона суровый и резко континентальный, отличающийся холодной продолжительной зимой, коротким теплым летом и кратковременностью переходных периодов. Участок изысканий расположен в северо-восточной части Среднесибирского плоскогорья, в рельефе которого широко развиты структурно-денудационные плато. Исследуемая территория находится в пределах структуры второго порядка – Вилюйского плато. В орографическом отношении район работ приурочен к северной части Средне - Сибирского плоскогорья и характеризуется пологоволнистым рельефом с общим наклоном поверхности на восток и юго-восток. Рельеф плоскогорный. На севере района – Вилюйское плато, на юге – Приленское плато. Абсолютные отметки колеблются от 419 до 717 м [5, 6].

На подготовительном этапе инженерно-геодезических изысканий были проведены следующие виды работ:

- осуществлены организационно-подготовительные мероприятия для производства полевых работ;
- выполнен сбор и изучение имеющихся топографо-геодезических материалов, а также отыскание и обследование исходных геодезических пунктов на участке работ;
- выполнена рекогносцировка, выявление и согласование надземных и подземных инженерных коммуникаций в пределах границы топографической съемки масштабов 1:1 000 и 1:500;

– составлена программа организации и производства инженерно-геодезических изысканий;

– проведен инструктаж с персоналом по охране труда, промышленной и пожарной безопасности, а также техники безопасности по каждому отдельному виду полевых работ.

Перед проведением геодезических работ на участке были обследованы исходные пункты и ранее заложенные ведомственные пункты долговременного закрепления.

Цель обследования – определение сохранности и пригодности геодезических пунктов и дальнейшее использование их в качестве исходных и рабочих. По результатам обследований были составлены:

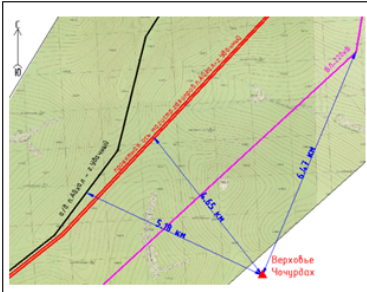
- карточки обследования исходных геодезических пунктов (рис. 3);
- ведомость обследования пунктов долговременного закрепления [7, 8].

Карточки обследования исходных геодезических пунктов  
Карточка № 1

Дата: июнь 2019 г.  
Наличие пункта: есть.

Название пункта	Класс, разряд	№ марки	Опознавательный столб (знак)	Тип центра	Отметка над ур. моря	Внешнее оформление
Верховая Чочурдах	2 класс, IV класс	-	-	83	605 м	сторожок, деревянный сигнал уничтожен

Абрис местоположения пункта      Описание местоположения пункта




В 66°09'56.56" L 112°10'04.28"

Республика Саха (Якутия), Мирнинский район, а/д г. Удачный – п. Айхад. Пункт расположен в 31,9 км на северо-восток от развилки а/д г. Мирный – г. Удачный – п. Айхад, в 25,9 км на юго-запад от ПНС №1 ЦХХ ОФ№12, в 5,18 км юго-запад от а/д п. Айхад – г. Удачный, в 4,65 км на юго-запад от проектируемой оси магистрального газопровода п. Айхад - г. Удачный, в 6,47 км на юго-запад от поворота ВЛ-220кВ.

Высота марки от уровня земли ниже на 0,1 м.  
Пункт пригоден для геодезических измерений.

Фотографии пункта

Вид центра



Вид марки




Рис. 3. Карточка обследования исходного пункта

В Федеральном государственном бюджетном учреждении «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных» (ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД») была получена выписка координат и высот на 8 исходных пунктов ГГС в системе координат СК42 и Балтийской системе высот 1977 года. В ходе обследования исходных

пунктов параллельно были обследованы и изучены участки проведения топографической съемки масштабов 1:1 000 и 1:500 [7, 9, 10].

После детального изучения участка изысканий на подготовительном этапе были заложены 28 пунктов долговременного закрепления. Пункты заложены в виде деревянных пней (рис. 4), которые включают в себя полочку, центр в виде самореза и наружное оформление (подписан номер, год закладки и название организации, высота марки от уровня земли 0,3–0,5 м, высота центра 0,6–1,0 м). Между пунктами имеется прямая оптическая видимость.

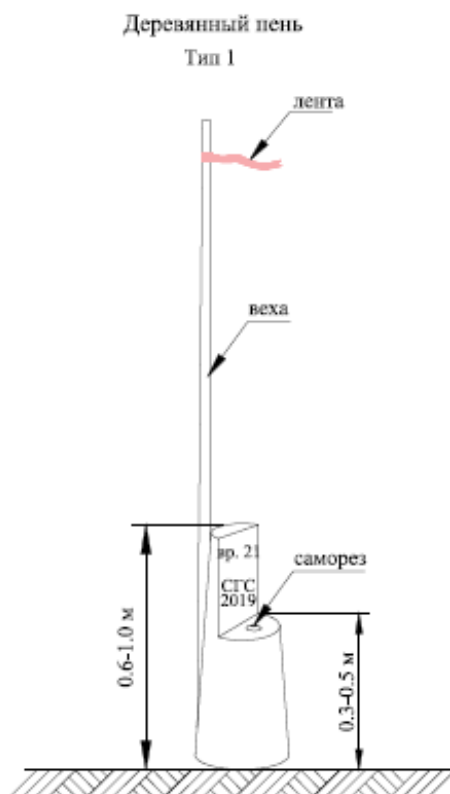


Рис. 4. Пункт долговременного закрепления.

При выборе места закладки пунктов долговременного закрепления учитывались следующие требования по их размещению:

- ослабление влияния вибрации от транспортных средств и вероятности их возможного разрушения или изменения положения (пункты закреплялись в стороне от проезда);

- удобное расположение для выполнения топографо-геодезических работ.

После закладки пункты долговременного закрепления сданы по акту на сохранность заказчику.

Опорная геодезическая сеть на объекте создавалась с учетом ее последующего использования при геодезическом обеспечении работ для строительства и эксплуатации объекта [11].

Плановое и высотное положение пунктов опорной геодезической сети было определено с использованием спутниковой геодезической аппаратуры фирмы Trimble марки R7 и R8 III со СКО в плане – не грубее полигонометрии 2 разряда, а по высоте – нивелирования IV класса. Возможность определения высотного положения спутниковыми методами допустима, так как на пунктах были уничтожены деревянные сигналы [12, 13].

Спутниковые наблюдения выполнялись по следующей схеме. Над пунктом устанавливался штатив, центрирование и горизонтирование выполнялось с использованием стандартного трегера и оптического центрира с ценой деления ампулы пузырька уровня 30". Ошибка центрирования не превышала 1,0 мм. Спутниковая антенна устанавливалась на трегер через специальное переходное устройство. Измерение высоты антенны производилось до центра марки с использованием компарированных жезлов модели «Trimble» с ценой деления шкалы 1,0 мм. СКО отсчитывания высоты инструмента составляла не более 1,0 мм [14].

При проведении спутниковых наблюдений соблюдались следующие требования:

- использовался режим статика;
- время совместного стояния на точках – не менее 30 минут;
- количество сеансов – один;
- минимальное количество спутников – 6;
- минимальный угол отсечки наблюдаемых спутников – 13°;
- дискретность записи информации со спутников – 5";
- максимальный PDOP – 6,0.

Полевые наблюдения заносились на карты памяти спутниковых приемников и журнал спутниковых измерений установленной формы (рис. 5). Каждый день после проведенных наблюдений производилась передача данных с приемников на персональный компьютер для обработки и накопления полученных измерений.

Спутниковые наблюдения выполнялись в статическом режиме, сетевым методом. При проектировании спутниковой геодезической сети учитывалось положение определяемых пунктов внутри полигона (каркаса) между исходными пунктами.

На первом этапе выполнялась обработка базовых линий (таблица) между исходными и определяемыми геодезическими пунктами. На втором этапе был выполнен пересчет координат исходных пунктов из системы координат СК42 в систему координат местная (ОМС Мирнинского района). В результате уравнивания спутниковых наблюдений получены следующие абсолютные ошибки определения координат пунктов опорной геодезической сети:

- плановые: минимальные – 34 мм; максимальные – 52 мм;
- высотные: минимальные – 86 мм; максимальные – 136 мм;

Относительные ошибки определяемых базисных линий не превышали величины 1: 25 000 [15].



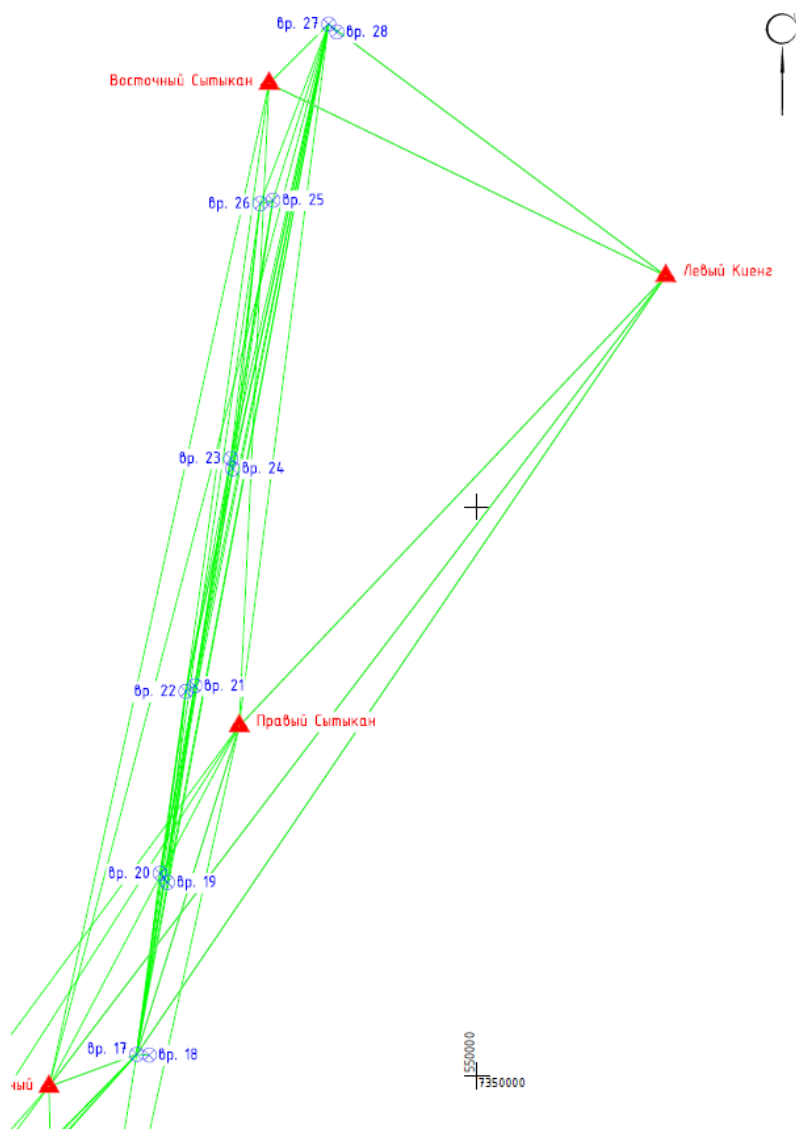


Рис. 5. Пример схемы спутниковых измерений.

С целью сгущения геодезической плановой и высотной основы до плотности, обеспечивающей выполнение топографической съемки масштаба 1:1 000 и 1:500, съемочная геодезическая сеть развивалась от геодезической опорной сети. Всего было заложено 26 пунктов. Пункты закладывались парами в виде деревянных пней и имеют вежу с красной лентой и высоту марки от уровня земли 0,30 м. Маркировка пунктов выполнена с северной стороны масляной краской с указанием номера пункта, года закладки и организации исполнителя. Определение координат и высот пунктов выполнялось спутниковыми методами с использованием двухчастотной высокоточной геодезической аппаратуры фирмы Trimble марки R7 и R8 III с точностью теодолитного хода и технического нивелирования, что полностью удовлетворяет условиям точности построения планово-высотного съемочного обоснования.



### Пример отчета об обработке базовых линий

Измерение	От	До	Тип решения	П. Точн. (Метр)	В. Точн. (Метр)	Геод. аз.	Элл. расстояние (Метр)	ΔВысота (Метр)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Каменный - Восточный Сытыкан (В7)	Каменный	Восточный Сытыкан	Фикс.	0,003	0,013	13°26'43"	18057,062	-211,394
Правый Сытыкан - Каменный (В14)	Каменный	Правый Сытыкан	Фикс.	0,002	0,007	28°53'55"	7167,141	-157,500
Каменный - вр. 17 (В33)	Каменный	вр. 17	Фикс.	0,002	0,002	70°51'01"	1640,934	-92,306
Каменный - вр. 27 (В27)	Каменный	вр. 27	Фикс.	0,004	0,017	15°48'24"	19320,543	-252,891
Каменный - Благодать (В8)	Каменный	Благодать	Фикс.	0,004	0,014	222°30'04"	12401,985	-134,345
Каменный - вр. 13 (В38)	Каменный	вр. 13	Фикс.	0,005	0,020	217°38'30"	8548,485	-126,468
Восточный Сытыкан - Левый Киенг (В5)	Восточный Сытыкан	Левый Киенг	Фикс.	0,003	0,014	117°02'30"	7751,257	25,444
вр. 17 - вр. 18 (В36)	вр. 17	вр. 18	Фикс.	0,003	0,004	94°19'34"	219,761	-12,946
вр. 17 - Благодать (В34)	вр. 17	Благодать	Фикс.	0,005	0,021	225°45'13"	13868,019	-42,053

Спутниковые наблюдения на точках (пунктах) выполнялись в режиме RTK, лучевым методом со следующими установками и условиями:

- метод съемки – RTK;
- время совместного стояния на точках – не менее 10 секунд;
- количество эпох измерений – 3 и более;

- минимальное количество спутников – 6;
- минимальный угол отсечки наблюдаемых спутников –  $10^\circ$ ;
- дискретность записи информации со спутников – 2 секунды;
- максимальный PDOP – 6,0.

Установка антенны приемника над центром производилась с ошибкой не более 3,0 мм. Высота антенны над центром пункта определялась с ошибкой не более 2,0 мм.

С использованием режима RTK в полевых условиях быстро проводилась оценка точности измерений. Все измерения, удовлетворяющие допустимым значениям отклонений, записывались в память приемника (имя точки, координаты ХУН), и в конце рабочего дня передавались на ПК. С целью уменьшения плановых и высотных ошибок результаты, не удовлетворяющие допустимым значениям, исключались и измерения повторялись [2].

Согласно заданию, была выполнена топографическая съемка масштаба 1:1 000 с высотой сечения рельефа через 0,5 метров. Съемка велась по проектируемой трассе газопровода полосой 60 метров (от визуальной оси существующей просеки по 30 метров). Общая площадь топографической съемки (незастроенная территория) составила 361 Га.

В связи с благоприятными условиями (открытый горизонт) для спутниковых измерений, топографическая съемка была выполнена с помощью спутниковой аппаратуры в режиме реального времени (RTK) от ближайших пунктов опорной и съемочной геодезической сети. Максимальная удаленность точек съемки от пункта составила не более 5,0 км.

В соответствии с нормативно технической документацией измерения в режиме RTK выполнялись лучевым методом со следующими установками и условиями:

- метод съемки – RTK;
- время совместного стояния на точках – не менее 10 секунд;
- количество эпох измерений – 3 и более;
- минимальное количество спутников – 6;
- минимальный угол отсечки наблюдаемых спутников –  $10^\circ$ ;
- дискретность записи информации со спутников – 2 секунды;
- максимальный PDOP – 6,0.

Набор пикетов производился равномерно по всей площади с учетом форм рельефа. Для отображения микрорельефа на сложных участках плотность пикетов увеличивалась. При выполнении топографической съемки велись журналы и абрисы, в которых фиксировались элементы снимаемой ситуации и их характеристики. Оценка точности измерений выполнялась в полевых условиях. Все измерения, удовлетворяющие допустимым значениям отклонений, записывались в память приемника (имя точки, координаты ХУН), и передавались на ПК в конце рабочего дня. Измерения, не удовлетворяющие допустимым значениям, исключались [16].

Плановое положение подземных инженерных коммуникаций были определены с помощью трассоискателя АБРИС ТМ-8. Плановая и высотная точность определения координат пикетов в режиме RTK не превысила 5,0 см, что удовлетворяет требованиям нормативных документов.

Инженерно-топографический план был выполнен в цифровом виде в сертифицированной программе «AutoCAD Civil 3D 2016» с использованием классификатора объектов системы классификации и кодирования топографической и картографической информации. Каждый объект плана, согласно его топологической принадлежности, находится в соответствующем слое кодификатора.

На топографический план нанесены все существующие здания и сооружения, надземные и подземные инженерные коммуникации, грунтовые и тракторные дороги, границы откосов, границы покрытий и угодий, линии электропередачи и связи (определены типы опор, отметки подвесов проводов), просеки, ручьи и границы растительности рис. 6–8 [17, 18, 19]



Рис. 6. Ручей Чукука



Рис. 7. Вид на задвижки





Рис. 8. Опора ВЛ 220 кВ

В ходе съемки все инженерные коммуникации (надземные, подземные), находящиеся на территории участка работ, были согласованы с эксплуатирующими организациями. В процессе производства топографической съемки от ближайших точек съемочной геодезической сети была выполнена планово-высотная привязка инженерно-геологических выработок (скважин) в количестве 326 штук (рис. 9).



Рис. 9. Геологическая скважина № 37

При выполнении высотной привязки на скважинах определялись отметки устья и сейфа. Цифровая модель рельефа и цифровая модель местности привязаны в заданной системе координат и высот.

Средние ошибки определения планового и высотного положения скважин соответствуют требованиям, предъявляемым к топографической съемке контуров с четкими очертаниями в масштабе 1:1 000 создаваемого плана.

Инженерно-топографический план был оформлен на 39 листах масштаба 1:1 000.

Согласно заданию, на 11 участках (площадка существующего КУ, площадки под проектируемые АГРС, КУ, переходы через водоемы, автодороги) была выполнена топографическая съемка масштаба 1:500 с высотой сечения рельефа через 0,5 метров. Общая площадь топографической съемки (незастроенная территория) составила 21,5 Га.

В связи с благоприятными условиями (открытый горизонт) для спутниковых измерений, топографическая съемка была выполнена с помощью спутниковой аппаратуры в режиме реального времени (RTK) от ближайших пунктов опорной и съемочной геодезической сети. Максимальная удаленность точек съемки от пункта составила не более 5 км [16].

Измерения выполнялись в режиме RTK по аналогии с вышеописанной методикой производства топографической съемки в масштабе 1:1 000. Инженерно-топографический план (рис. 10) оформлен на 12 листах масштаба 1:500 [17, 18, 19].

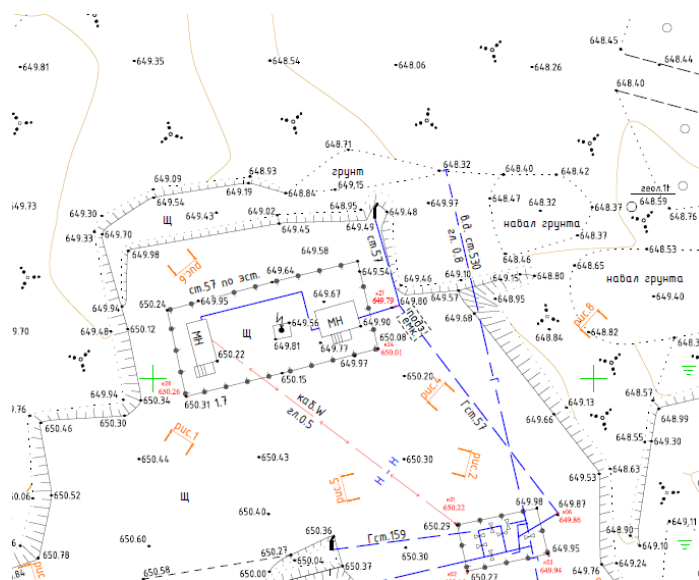


Рис. 10. Пример инженерно-топографического плана масштаба 1:500

### *Заключение*

Современное геодезическое оборудование и методы измерений позволяют достичь высокой эффективности выполнения работ. В качестве основных достоинств, позволяющих увеличить производительность труда, можно выделить следующее:

– отсутствие триангуляционных сигналов позволило определить высотные отметки с помощью ГНСС технологий с необходимой точностью;

- близость к автодороге и наличие просек позволили значительно сократить время выполнения полевых работ;
- правильное проектирование работ позволило выполнять несколько этапов одновременно;
- полевое кодирование значительно ускорило проведение камеральной обработки полевых измерений и тем самым исключило необходимость в ведении бумажного абриса.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция. СНиП 11-02-96, М. 2012 г.
2. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96, М., 2016 г.
3. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства, Геострой России, М., 1997 г.
4. Уставич, Г.А. .Геодезия Книга 1 [Текст]: учебник.- Новосибирск, 2012.- 351.
5. Справочник по климату СССР. Вып. 24. Температура воздуха, Якутск 1989 г.
6. Многолетние данные по метеостанциям Якутской Саха СССР Якутское территориальное управление по гидрометеорологии – 1991 г.
7. ГКИНП (ГНТА) 01-014-02. Инструкция по составлению и изданию каталогов геодезических пунктов.
8. Требования к составу технической документации на обследование и восстановление пунктов и знаков государственной геодезической сети.
9. Технический отчет «Комплекс инженерно-геодезических работ по сгущению и развитию опорной геодезической сети, маркшейдерской сети на основных промышленных площадках и территориях населённых пунктов деятельности АК «АЛРОСА» (ОАО). Айхальская промышленная площадка», 2015 г.
10. Технический отчет «Комплекс инженерно-геодезических работ по сгущению и развитию опорной геодезической сети, маркшейдерской сети на основных промышленных площадках и территориях населённых пунктов деятельности АК «АЛРОСА» (ОАО). Удачинская промышленная площадка», 2015 г.
11. ГКИНП-07-016-91 «Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей», Геодезиздат, М., 1991 г.
12. ГКИНП (ГНТА) -03-010-02. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов, М., ЦНИИГАиК, 2003 г.
13. Уставич, Г.А. .Геодезия Книга 2 [Текст]: учебник.- Новосибирск, 2014.- 534
14. РТМ 68-14-01. Спутниковая технология геодезических работ.
15. ГКИНП (ОНТА)-01-271-03. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS, М., ЦНИИГАиК, 2003 г.
16. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS, М., ЦНИИГА и К, 2002 г.
17. ГКИНП (ГНТА)-02-033-82. Инструкция по топографической съёмке масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500, Недра, 1989 г.
18. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Недра, 1989 г.
19. Автоматизация инженерно-геодезических измерений : метод. указ. / НИИГАиК ; В. М. Украинко, Г. А. Уставич, О. П. Сучков, С. И. Созыкин. - Новосибирск : 1985. - 34 с.

© М. Г. Успеньева, А. М. Астапов, 2020