

# **ПРИКЛАДНАЯ ГЕОДЕЗИЯ**

## **ПРОЕКТ ПОСТРОЕНИЯ ПЛАНОВО-ВЫСОТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ДЛЯ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ**

*Методические указания к курсовой работе  
для студентов бакалавриата направления 21.03.02*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2020**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра инженерной геодезии

# ПРИКЛАДНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

ПРОЕКТ ПОСТРОЕНИЯ  
ПЛАНОВО-ВЫСОТНОГО ОБОСНОВАНИЯ  
ДЛЯ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ  
ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ

*Методические указания к курсовой работе  
для студентов бакалавриата направления 21.03.02*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2020

УДК 528.48 (073)

**ПРИКЛАДНАЯ ГЕОДЕЗИЯ. Проект построения планово-высотного обоснования для топографической съемки городской территории:** Методические указания к курсовой работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *В.Г. Потюхляев*. СПб, 2020. 52 с.

Приведены рекомендации по проектированию геодезической опорной сети для топографических съемок городской территории площадью до 150 кв. км.

Предназначены для студентов второго курса по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры», а также могут быть использованы студентами третьего и четвертого курсов специальности 21.05.01 «Инженерная геодезия» для подготовки к зачету или экзамену.

Научный редактор проф. *М.Г. Мустафин*

Рецензент проф. *М.Я. Брынь* (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I)

© Санкт-Петербургский  
горный университет, 2020

## ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект - самостоятельная работа студента, способствующая систематизации, закреплению и углублению знаний, полученных в процессе обучения. Студент, составляя проект, приобретает навыки работы с картой, технической литературой, нормативными документами, учится выполнять расчетно-графические работы. Пояснительная записка должна быть ценна и интересна по содержанию и безупречна в научном отношении. Работа над курсовым проектом подготавливает студента к выполнению более сложного – дипломного проекта.

Курсовым проектированием завершается изучение раздела «Геодезические работы при проектировании и строительстве городов» теоретического курса прикладной геодезии. Проект посвящен одному из видов геодезических работ, выполняемых на городских территориях: построению планового и высотного геодезического обоснования. При этом запроектированную сеть предполагается использовать: для составления генерального проекта планировки всей городской территории в масштабе 1: 5000; для составления проекта детальной планировки жилой зоны города в масштабе 1: 2000. Работая над проектом, следует использовать современные методы построения геодезических сетей, в частности, автономные методы спутниковых координатных определений, основанные на применении принципиально новых технических средств – спутниковых геодезических приемников систем ГЛОНАСС и GPS.

Задание по курсовому проектированию выдается индивидуально каждому студенту на прилагаемой к методическим указаниям топографической карте масштаба 1: 50000, где указываются необходимые исходные данные.

Оформление текстовой части работы выполняется на компьютере в виде распечатки в формате MS Word. Печать на одной стороне белой бумаги размером 210x297 мм (формат А 4). Поля, мм: левое 30, правое 25, верхнее 25, нижнее 25. Тип шрифта – Times New Roman, прямой. Высота шрифта: тело абзаца – 12, заголовки – 14. Интервал – 2.

Оформление рисунков выполняется средствами компьютерной графики, от руки (тушью, пастой, чернилами) или в виде фотографий.

Пояснительная записка должна включать титульный лист, аннотацию на русском и иностранном языках, оглавление, введение, собственно текст, заключение, библиографический список, приложения.

## **1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ**

### **1.1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Составить проект работ по созданию геодезической опорной сети для съемок городской территории площадью до 150 кв. км. При этом необходимо руководствоваться следующей схемой развития опорной геодезической сети:

1. Построение каркасной спутниковой сети (КС) на всей территории города.

2. Развитие плановой геодезической основы на территории города пунктами спутниковой городской геодезической сети 1 класса (СГГС-1).

3. Построение геодезической сети на территории города пунктами полигонометрии 4-го класса.

4. Сгущение сети пунктами полигонометрии 1-го разряда на всей территории города.

5. Сгущение геодезической сети пунктами полигонометрии 2-го разряда на территории жилой зоны города.

6. Построение нивелирных сетей II и III классов на всем листе карты.

7. Развитие нивелирных сетей пунктами нивелирования IV класса на территории жилой зоны города.

В качестве исходных пунктов плановой сети (ИП) следует использовать два пункта (обозначены на карте красными треугольниками) и два репера нивелирования I класса (обозначены красными кружками).

Допускается сокращать количество этапов построения плановой сети сгущения, созданной методом полигонометрии, и совмещать реперы нивелирования IV класса с пунктами плановой сети.

Запроектированные работы должны быть выполнены в течение одного года при продолжительности полевого периода не более 7 месяцев.

## 1.2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Законченная курсовая работа состоит из графической части и пояснительной записки. Пояснительная записка содержит текстовую и расчетную части, а также необходимые чертежи и рисунки. Проект является учебным, поэтому эскиз генерального плана города, схемы разграфки съемочных планшетов и проектируемых сетей наносят на кальку. На листе карты каждого варианта задания указано местоположение двух исходных пунктов и двух реперов нивелирования I класса, которые являются исходными для развития геодезической основы. Все остальные пункты (триангуляции и полигонометрии), а также нивелирные реперы, обозначенные на карте, при составлении проекта следует считать утраченными.

Проектируя плановые геодезические сети с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS на территории города необходимо, прежде всего, исходить из требований Руководства по созданию и реконструкции городских геодезических сетей [6] (табл. 1). При этом значения средних погрешностей взаимного положения любых пунктов спутниковых городских геодезических сетей не должны превышать 30 мм.

Плотность пунктов создаваемой городской геодезической сети должна удовлетворять следующим требованиям:

- один или несколько исходных пунктов (ИП) в городах площадью не менее 100 кв. км;
- один пункт КС на 40 – 100 кв. км городской геодезической сети, но в любом случае не менее трех пунктов;
- один пункт СГГС-1 на 5-40 кв. км городской геодезической сети;

- плотность СГГС-2 должна удовлетворять текущие потребности городского геодезического обоснования.

Таблица 1

**Спутниковые сети**

Тип сети	Точность определения координат, см	Относительная погрешность определения линий не грубее	Значения средних погрешностей взаимного положения пунктов, мм
Исходный пункт (ИП)	1-2	1:1 000 000	-
Каркасная сеть	1-2	1:500 000	15
Спутниковая городская геодезическая сеть 1 класса (СГГС-1)	1-2	1: 150 000	20
Спутниковая городская геодезическая сеть 2 класса (СГГС-2)	1-2	1:150 000	-

Общая плотность пунктов закрепленного городского планового обоснования должна быть не менее 4-х пунктов на 1 км<sup>2</sup> на застроенной территории и не менее 1-го пункта на 1 км<sup>2</sup> на незастроенной территории. Пункты нивелирной сети должны располагаться так, чтобы при нанесении их на каждый лист плана масштаба 1:5000 приходилось не менее одного знака. При разработке проекта жилую зону города считать подлежащей застройке в ближайшие 5 лет.

Выполнение задания следует начинать с анализа физико-географических особенностей района работ согласно указаниям раздела 2. На основании изучения карты и физико-географических условий района работ надо наметить на кальке (лист 1) участок под строительство города площадью около 150 км<sup>2</sup> с указанием жилой зоны, зоны промышленной застройки и зоны отдыха. Жилую зону необходимо разбить на участки квартальной застройки. Эта работа выполняется в соответствии с указаниями раздела 3. Затем следует приступить к разграфке на кальке (лист 1) съемочных планшетов масштабов 1: 5000 и 1: 2000, подсчитать площадь съемки и после этого составлять на других листах кальки графические проекты геодезических сетей: КС и СГГС-1 (лист 2), полигонометрии 4-го клас-

са, 1-го и 2-го разрядов (лист 3), нивелирования II и III классов (лист 4), нивелирования IV класса (лист 3).

При разработке графического проекта планового обоснования необходимо:

- определить количество пунктов, обеспечивающее требования к плотности спутниковой сети [6];

- рекомендовать аппаратуру и методику спутниковых наблюдений с указанием на схеме сетей КС и СГГС-1 стыковочных пунктов и расстановку спутниковых антенн (раздел 5.1.1);

- рассчитать точность проектируемых сетей и наибольшую величину допустимой невязки приращений координат по замкнутым фигурам (раздел 5.1.4).

Разработка графических схем полигонометрических сетей должна быть выполнена исходя из требований Руководства [6] и свода правил [10] с учетом местных условий и расположения межквартирных проездов, обозначенных на эскизе генерального плана города (раздел 5.2.1). К проекту полигонометрических сетей приложить чертежи и описание выбранных типов центров [5, 6] (раздел 5.2.2), пример предрасчета точности одного из ходов полигонометрии 4-го класса (раздел 5.2.3), рекомендации по методике угловых и линейных измерений с обоснованием выбора типов геодезических приборов (раздел 5.2.4).

При разработке графического проекта нивелирных сетей (раздел 6.1) следует руководствоваться требованиями Инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов [4] и государственного стандарта (ГОСТ) 10528-90 [3]. Предрасчет точности (раздел 6.3) выполнить на примере нивелирной сети II класса, сделав вывод о том, пригодна ли эта сеть для дальнейшего сгущения. Привести краткое описание методики нивелирования (раздел 6.4).

В конце пояснительной записки приводится библиографический список, составленный на основании ГОСТ 7.1- 2003 [2]. В перечень литературы включают все использованные учебные пособия, наставления, нормативные документы, справочники и т.д.

Пояснительная записка к курсовому проекту состоит из следующих разделов:



## Введение

1. Физико-географическое описание района работ
  2. Эскиз генерального плана города
  3. Разграфка планшетов и подсчет площадей съемки
  4. Проект развития планового обоснования
  5. Проект построения высотного обоснования
- Библиографический список.

Различные мелкие чертежи вычерчивают непосредственно в тексте пояснительной записки. Пояснительная записка должна содержать следующие схемы и чертежи:

- 1) уменьшенную схему КС и СГГС-1 по расстановке спутниковых антенн;
- 2) чертежи центров пунктов планового обоснования и репера;
- 3) вычерченную в масштабе схему полигонометрического хода 4-го класса, поясняющую предрасчет точности;
- 4) уменьшенную схему нивелирной сети II класса для предрасчета ее точности.

Объем пояснительной записки курсовой работы не должен превышать 25 страниц печатного текста включая рисунки.

Графическая часть проекта (на кальках) включает:

1. Лист 1 (эскиз генерального плана города), на который наносятся:
  - а) рамка карты масштаба 1:50 000;
  - б) жилая и промышленная зоны, а также зона отдыха;
  - в) участки квартальной застройки жилой зоны города;
  - г) разграфка планшетов (с обозначением их номенклатуры) масштаба 1:5000 на всю территорию города и масштаба 1:2000 на территорию жилой зоны.
2. Лист 2 (графические проекты КС и СГГС-1), на который наносятся:
  - а) рамка карты масштаба 1:50 000 и граница территории города;
  - б) схема КС;
  - в) схема СГГС-1 с указанием стыковочных пунктов;

3. Лист 3 (графический проект сети полигонометрии), на который наносятся:

а) рамка карты масштаба 1:50 000 и граница территории города с обозначением зоны жилищной застройки;

б) схема сети полигонометрии 4-го класса, опирающаяся на исходные пункты спутниковой сети;

г) схема сетей сгущения (полигонометрия 1-го и 2-го разрядов);

4. Лист 4 (графический проект нивелирных сетей II и III классов), на который наносятся:

а) рамка карты масштаба 1:50 000 и граница территории города;

б) схема нивелирования II класса;

в) схема нивелирования III класса.

Пункты нивелирных сетей II и III классов по возможности целесообразно совмещать с пунктами плановой сети; причем следует условно считать, что схема нивелирной сети IV класса соответствует схеме расположения пунктов полигонометрии 2-го разряда.

## **2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА РАБОТ**

Тщательное изучение района работ в физико-географическом отношении способствует выбору наиболее благоприятного участка под строительство города, созданию качественного и экономически целесообразного проекта. Источниками для составления физико-географического описания служат топографическая карта масштаба 1:50 000, прилагаемая к настоящим методическим указаниям, и справочная литература о физико-географических особенностях местности (уровне грунтовых вод, глубине промерзания грунта, климате и др.) какого-либо региона Российской Федерации (по выбору студента).

## 2.1. АДМИНИСТРАТИВНАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ

Охарактеризовать район работ. Указать административные центры, почтово-телеграфные пункты, отделения банков, пункты снабжения горючим, условия найма рабочих и транспорта и т.д.

## 2.2. РЕЛЬЕФ

Указать типы рельефа, расчлененность поверхности, типичные формы рельефа по участкам (горы, холмы, увалы, долины) и наиболее удобные пути движения по ним - по гребням, склонам, долинам). Особое внимание следует обратить на командные высоты. Указанные сведения нужны для выбора участка под строительство города и методов топографической съемки.

Типы рельефа (равнинный, холмистый, горный) устанавливают по высотам, превышениям и преобладающей крутизне скатов. Для этого выявляют местоположение основных скелетных линий рельефа (долин, водоразделов), устанавливают по карте наибольшую и наименьшую высоты, а также оценивают преобладающую крутизну скатов (табл. 2). К переходным типам рельефа относятся: холмистая равнина, мелкосопочник, предгорье, плоскогорье. Холмистый рельеф в зависимости от его пересеченности и характера возвышенностей (понижений) может быть слегка всхолмленным, резко-всхолмленным, долинно-балочным, овражно-балочным.

Таблица 2

**Типы рельефа и крутизна скатов**

Тип рельефа	Высота, м	Превышения, м	Крутизна скатов
Равнинный	До 300	До 25	До 1°
Холмистый	До 500	25-200	2-3
Низкогорный	500-1000	200-500	5-10
Среднегорный	1000-2000	500-1000	10-25
Высокогорный	Свыше 2000	Свыше 1000	Круче 25

Пересеченность рельефа определяется степенью его горизонтального расчленения оврагами, реками, озерами, болотами, канавами, крутыми скатами и другими естественными препятствиями. Пересеченность местности приближенно оценивают по площади,

занятой вышеперечисленными препятствиями. Ориентировочно рельеф равнинно-холмистой местности можно считать слабопересеченным при среднем расстоянии между лощинами более 7 км и сильнопересеченным – при расстоянии менее 2 км.

### 2.3. ГРУНТЫ И ПОЧВЫ

Сведения необходимы для выбора площадки под строительство города, типов центров и глубины их закладки, а также для определения степени проходимости местности.

*Грунт* – обобщенное название верхнего слоя земной поверхности. Он может состоять из любых горных пород и является объектом техногенной деятельности человека. Грунты подразделяются на три основные группы: рыхлые (пески, супеси, легкие суглинки, чернозем, торфяники), уплотненные (жирная глина, тяжелые суглинки, гравий, грунты в мерзлом состоянии) и скальные (граниты, гнейсы, известняки, песчаники).

С помощью карты характер грунтов можно определить:

- по условным знакам (каменистые и песчаные);
- по начертанию горизонталей (угловатое - каменистые грунты, плавное – рыхлые);
- по крутизне склонов (чем круче – тем плотнее грунты);
- по наличию оврагов (это признак преобладания суглинистых грунтов).

О характере грунтов, их влажности примерно можно судить по виду растительности (таблица 3). Связь растительности с определенными грунтами общеизвестна. Однако в целом говорить о постоянной и четкой приуроченности было бы не вполне корректно. В разных районах из-за особенностей климата, плотности пород и других факторов распределение типов растительности может сильно варьировать.

*Грунтовые воды* – подземные воды первого от поверхности водоносного горизонта в капельном состоянии. Выше них влага встречается только в пленочном состоянии.

*Почва* – верхний слой грунта толщиной 0,5-1,5 м, обладающий плодородием и несущий на себе растительный покров. Основ-

ные типы почв связаны с климатом и располагаются зонами от полюсов к экватору.

Таблица 3

**Определение характера грунта по виду растительности**

Условный знак растительности на карте	Преимущественный характер грунта	Примерные почвенно-грунтовые условия
Сосновы леса с примесью березы	Песчаный и супесчаный	Пески или легкие супеси, иногда подстилаемые известняками и песчаниками. Грунтовые воды залегают глубже 5 м.
Сосновые леса с большой примесью ели, дуба, граба, клена, бука	Супесчаный и песчаный с прослойками суглинков	Легкие супеси или пески с близкими к поверхности мощными прослойками тяжелых супесей, суглинков или подстилаемые сплошными суглинками на небольшой глубине
Еловые леса, еловые леса с примесью березы	Глинистый и суглинистый	Тяжелые глины и суглинки; иногда пески и супеси с очень близким залеганием плотных суглинков
Степная растительность	Суглинистый и супесчаный	Суглинки или супеси, часто подстилаемые плотными известняками; иногда лессовидные, реже щебенистые грунты
Лиственные леса: вяз, липа, дуб, клен, реже – береза	Супесчаный и суглинистый	Тяжелые супеси и суглинки (иногда с прослойками глины), часто подстилаемые глинами, мергелями, рыхлыми глинистыми известняками. Грунтовые воды залегают глубже 15 м
Лиственные леса: ольха, осина (иногда с примесью дуба)	Суглинистый и иловатоглинистый	Суглинки, часто перекрытые торфом разной мощности; иловатоглинистые аллювиальные отложения с наличием
Грабовые или буковые леса	Суглинистый и глинистый	Тяжелые суглинки и глины, реже – супеси, подстилаемые на небольшой глубине суглинками или известняками. Грунтовые воды на глубине 15–20 м

Условный знак растительности на карте	Преимущественный характер грунта	Примерные почвенно-грунтовые условия
Ивняки	Песчано-галечниковый	Пески и галечники, иногда с прослойками суглинков. Грунтовые воды на глубине более 1 м
Луговая растительность	Илистый, песчано-галечниковый, каменистый	Сверху гумус (30-40 см), ниже песчано-галечниковые отложения (суходолы); торфянистые грунты с близостью грунтовых вод (низины и поймы); каменные осыпи (горные луга)
Болотистая растительность	Болотистый, торфянистый	Грунты минерального дна обычно представлены песком, ниже - супесью, подстилаемой суглинками или глинами

При составлении физико-географического описания следует отметить все массивы болот площадью более 4 кв. км. На картах глубина болот от 0,5 до 2,0 м указывается с точностью до десятых долей метра. При глубине более 2 м на карте подписано «Глубже 2 м». По степени проходимости болота подразделяются на проходимые, труднопроходимые и непроходимые, а по характеру растительности – травянистые, моховые, камышовые и лесные. Участки местности со слоем увлажнения грунта менее 30 см называются заболоченными землями и обозначаются на картах условным знаком проходимых болот.

На основании изучения грунтов и почв даются рекомендации о проходимости местности, категории трудности земляных работ и типах центров геодезических пунктов. В этом же разделе приводятся сведения о наибольшей глубине промерзания грунта, наличии многолетней мерзлоты и глубине наибольшего протаивания. Указывается наличие в районе работ песка и гравия, необходимых для изготовления центров пунктов.

## 2.4. КЛИМАТ

Указываются тип и местные особенности климата. Даются сведения (для каждого месяца) о температуре воздуха (максимальные, минимальные и средние значения), атмосферном давлении, облачности (указывается число ясных и облачных дней), количестве осадков (причем отдельно указывается число ливней в году), преобладающие направление и сила ветра (в виде «розы ветров»). Приводится календарь (указываются даты) сезонных явлений – поздние весенние и ранние осенние заморозки, начало и конец устойчивых морозов, сроки вскрытия и замерзания рек, продолжительность распутицы, Отмечается время начала и конца вегетационного периода, наличие дымки и туманов. На основании данных этого раздела определяется местоположение зон города по отношению друг к другу и устанавливается продолжительность полевого сезона.

## 2.5. ГИДРОГРАФИЯ

Дается характеристика рек, озер, каналов. Берега рек характеризуются высотой, крутизной и типом грунта. На картах береговая линия рек, озер и водохранилищ соответствует линии уреза воды в межень (в период низкого, наиболее устойчивого уровня воды). Реки подразделяются: по ширине русла - на узкие (до 60 м), средние (60-200 м) и широкие (более 200 м); по глубине – на мелкие (до 1,5 м) и глубокие (более 1,5 м); по скорости течения – на реки со слабым (до 0,5 м/с), средним (0,5-1,0 м/с), быстрым (1-2 м/с) и стремительным (более 2 м/с) течением.

Для судоходных рек (глубиной больше 2 м) и любых рек шириной более 60 м дается характеристика их режима: направление течения, извилистость, средние значения ширины и глубины, скорость течения, условия питания, режим стока, расход воды. Указывается наличие островов, отмелей, грунт дна.

Указываются сведения о мостах и бродах. Крутизна выездов из воды не должна превышать для автомобилей 6°, а для тракторов 15°.

Озера и водохранилища характеризуются размерами, глубиной и особенностями грунта дна.

Каналы в зависимости от назначения подразделяются на судоходные, энергетические, мелиоративные и водопроводные. Их характеризуют, в основном, по тем же показателям, что и реки. Особое внимание обращают на участки каналов, расположенные выше окружающей поверхности, и на характер берегов (материал укрепления).

Сведения о гидрографии нужны для выбора участка под строительство города, выявления транспортных водных путей и возможностей снабжения города питьевой водой.

## **2.6. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ**

Леса делятся на хвойные, лиственные и смешанные; характеризуются площадью, породами деревьев, их высотой и толщиной, а также наличием дорог, троп и просек. Кроме того, необходимо указать сроки распускания зелени, что важно для аэрофототопографической съемки. Указывается расположение лесов и кустарников относительно рельефа, объектов гидрографии и населенных пунктов. Указывается также залесенность участка работ (в процентах) и характеристика твердости пород деревьев.

## **2.7. НАСЕЛЕННЫЕ ПУНКТЫ**

Населенность территории определяется показателем густоты населенных пунктов. В густонаселенной местности среднее расстояние между ними менее 1 км; в малонаселенной (малообжитой) – более 20 км. Для обжитых районов дается характеристика только населенных пунктов городского типа и наиболее крупных пунктов сельского типа (административные центры, узлы дорог); в малообжитых районах характеризуется каждый из населенных пунктов.



## **2.8. ДОРОЖНАЯ СЕТЬ**

Перечисляются железные и автомобильные (шоссейные и грунтовые) дороги. Густота и извилистость дорог оцениваются приблизительно. Указываются типы (классы) дорог, их направленность, характеристики (ширина, материал покрытия). Перечисляются все дорожные сооружения: мосты, viадуки, дорожные трубы, и приводятся их характеристики. Определяются условия доставки грузов и передвижения бригад в процессе работы, а также указывается наиболее экономичный и удобный вид транспорта.

## **3. ЭСКИЗ ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНА ГОРОДА**

Генеральный план города является основным градостроительным документом. На его основе разрабатывают проекты размещения первоочередного строительства, детальной планировки, планировки городских промышленных районов, жилищной застройки, инженерного оборудования, городского транспорта, благоустройства, озеленения, а также проекта для использования земель в пределах города.

Для существующих городов генеральный план разрабатывают с расчетом выполнения предусмотренных мероприятий по развитию и реконструкции города в течение 10-15 ближайших лет.

При строительстве новых городов с проектной численностью населения более 500 тыс. человек разработка генерального плана выполняется в две стадии: на первой стадии (технико-экономические основы проекта – ТЭО) составляют эскиз генерального плана, а на второй – сам генеральный план города. Геодезической основой для разработки генерального плана являются топографические карты масштаба 1:10 000. При строительстве городов с проектной численностью менее 500 тыс. человек генеральный план разрабатывают в одну стадию на топографической карте масштаба 1:5000. Исходными данными для составления генерального плана города являются техническое задание на разработку проекта, материалы комплексных изысканий (топографо-геодезических, экономи-

ческих, инженерно-геологических, гидрологических, гидрогеологических и др.), нормы проектирования и ряд других документов.

В курсовой работе эскиз генерального плана является условным прежде всего потому, что он ограничен по содержанию (приводятся только границы зон города и упрощенная схема квартальной застройки жилой зоны), его разрабатывают лишь на основе материалов физико-географического описания района работ и составляют на карте масштаба 1:50 000.

Разработку условного эскиза генерального плана города следует начинать с выбора участков, подлежащих застройке, площадь которых может быть примерно определена из отношения 3:2:1, рекомендуемого соответственно для жилой зоны, зоны отдыха и зоны промышленной застройки. Зоны жилой и промышленной застройки города целесообразно располагать на равнинной местности с наименьшим перепадом высот и крутизной скатов, уплотненных или скальных грунтах и незатопляемых площадках с таким расчетом, чтобы отметки зданий были выше горизонта высоких вод на 0,5-1,0 м. Необходимо учитывать также наличие водных источников, снабжение электроэнергией, газом, топливом, возможность сброса технических и канализационных вод. Желательно, чтобы участки, подлежащие застройке, были непригодны для сельского хозяйства и располагались вне существующих населенных пунктов.

Взаимное положение проектируемых зон как в плане, так и высоте должно удовлетворять следующим условиям:

1. Жилая зона должна располагаться с подветренной стороны «розы ветров» по отношению к промышленной зоне.

2. Указанные зоны должны быть отделены друг от друга (например, зоной отдыха).

3. Промышленная зона не должна располагаться вблизи водостока (реки), озера или водохранилища, примыкающего к жилой зоне города.

4. Жилая зона должна быть расположена выше зоны промышленной застройки.

На участках жилой и промышленной застройки города необходимо располагать элементы рекреационной зоны: парки, скверы, бульвары вдоль набережных и т.д. [9], обозначая их зеленым цветом.

При выборе участка под зону отдыха (зеленую зону) необходимо учитывать физико-географические особенности района предстоящих работ (расположение лесных массивов, водоемов, рельеф местности и т.д.), а также местоположение запроектированных жилой и промышленной зон. При этом целесообразно проектировать не компактное, а равномерное расположение зоны отдыха, большая часть которой примыкает непосредственно к жилой зоне города. Проектируя схему квартальной застройки жилой зоны, можно воспользоваться двумя вариантами или их комбинацией: схемой с радиально-кольцевым расположением основных проездов или схемой проездов, ориентированных по взаимно-перпендикулярным направлениям (рис. 1).

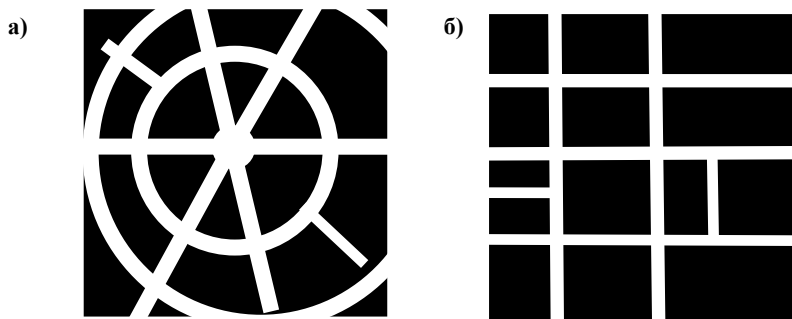


Рис. 1. Проект квартальной застройки жилой зоны города: а – с радиально-кольцевым расположением основных проездов; б – с проездами, ориентированными по взаимно-перпендикулярным направлениям

#### **4. РАЗГРАФКА СЪЕМОЧНЫХ ПЛАНШЕТОВ И ПОДСЧЕТ ПЛОЩАДЕЙ СЪЕМКИ**

В основу разграфки создаваемых инженерно-топографических планов в масштабах 1:5000 и 1:2000 на участки местности площадью свыше 20 кв. км, как правило, принимается лист карты масштаба 1:100000; для масштаба 1:5000 этот лист делится на 256 частей, а для масштаба 1:2000 каждый лист плана масштаба 1:5000 делится еще на 9 частей.

Номенклатура листа плана масштаба 1:5000 складывается из номенклатуры соответствующего листа карты масштаба 1:1000000 и номера листа плана масштаба 1:5000 (в скобках): например, N-33-97 (253).

Номенклатура листа плана масштаба 1:2000 складывается из номенклатуры соответствующего листа плана масштаба 1:5000 и одной из девяти строчных букв русского алфавита (а, б, в, г, д, е, ж, з, и), например: N-33-97 (253-а).

При составлении планов участков, расположенных севернее параллели 60°, листы этих планов сдваиваются.

Таблица 4

**Размеры рамок листов планов масштабов 1:5000 и 1:2000**

Масштаб плана	Размеры рамок листа плана	
	по широте	по долготе
1:5000	1' 15,0"	1' 52,5"
1:2000	25,0"	37,5"

Разграфка листов (планшетов) планов масштабов 1:5000 и 1:2000 выполняется на карте масштаба 1:50000 (прилагаемой к заданию), поэтому прежде всего необходимо определить разграфку указанной топографической карты. Пусть имеем лист карты (трапецию) У-33-97-Г\* масштаба 1:50000. Находим номер шестиградусной зоны, в которой расположена наша трапеция:  $n = 33 - 3 = 3$ . Долгота осевого меридиана зоны  $L_0 = n6^0 - 3^0 = 15^0$ . Исходный лист карты масштаба 1:1000000 (номенклатура У-33) имеет размеры  $4^0 \times 6^0$  и содержит 144 листа карт масштаба 1:100000 с размером трапеций  $20' \times 30'$ . На рис. 2,а обозначена разграфка листа карты масштаба 1:100000 с номенклатурой У-33-97. В свою очередь, лист топографической карты масштаба 1:100000 содержит четыре листа карты масштаба 1:50000 с размерами рамок трапеций  $10' \times 15'$ , обозначенные прописными буквами русского алфавита (А, Б, В, Г). На рис. 2,б приведена разграфка листа карты масштаба 1:50000 с номенклатурой У-33-97-Г. Как уже указывалось, разграфка планшетов топо-

---

\* В номенклатуре учебных карт пояс (ряд) обозначен русской прописной буквой «У»

графических карт масштаба 1:5000 образована делением листа карты масштаба 1:100000 на 256 частей.

Таким образом, прилагаемый лист карты масштаба 1:50000 содержит 64 листа (планшета) карт масштаба 1:5000 (рис. 2, в) с номенклатурой У-33-97 (137) в северо-западном углу трапеции и У-33-97 (256) в юго-восточном углу. На рис. 2,г приведена разграфка планшетов топографических карт масштаба 1:2000.

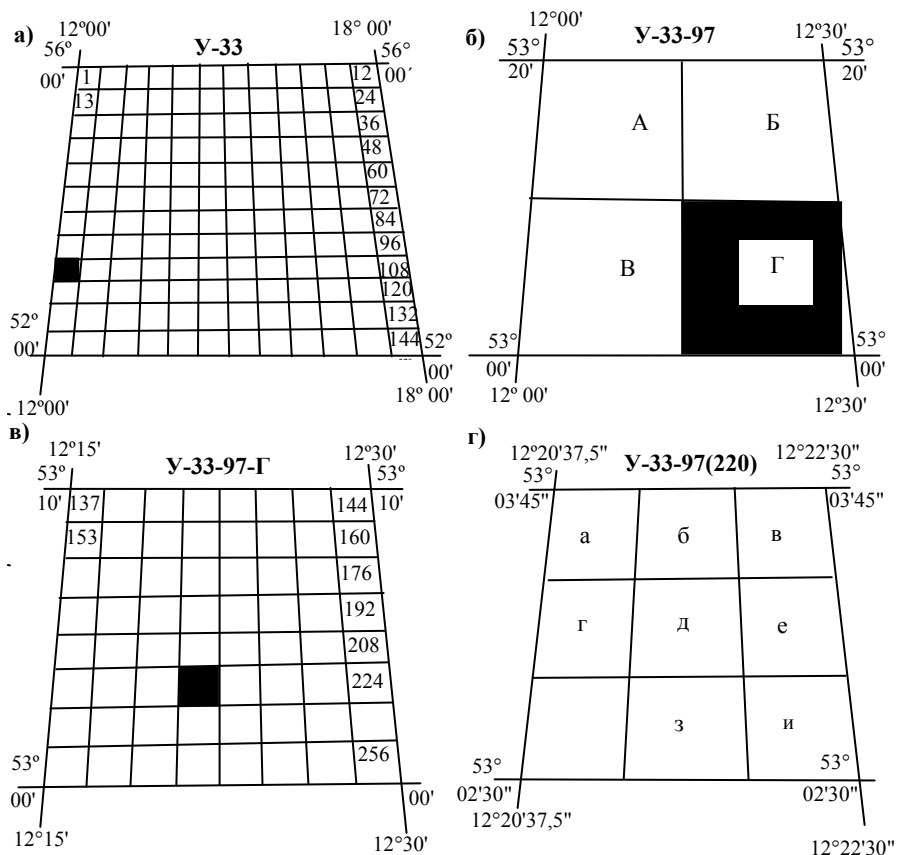


Рис. 2. Разграфка карт и планов масштабов: а – 1: 1 000000; б – 1: 50000;

На кальке (лист 1) вычерчивается схема расположения съёмочных трапедий с указанием номенклатуры. Рамки планшетов масштаба 1: 5000 рекомендуется вычерчивать тонкими линиями синего цвета, а рамки планшетов масштаба 1: 2000 – тонкими линиями желтого цвета.

## **5. ПРОЕКТ РАЗВИТИЯ ПЛАНОВОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ**

### **5.1. СПУТНИКОВАЯ ГОРОДСКАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЕТЬ**

Появление принципиально новых технических средств - глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) потребовало существенного пересмотра традиционных подходов к проблеме построения и реконструкции городских геодезических сетей. Спутниковые методы вытесняют традиционные и становятся основными благодаря их высокой точности, автономности, скорости и простоте измерений.

В настоящее время используют две спутниковые системы определения координат: российская глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС) и американская навигационная система определения расстояний и времени, глобальная система позиционирования (NAVSTAR GPS) [1, 6, 7].

В основу определения координат точек на поверхности Земли, воздушном пространстве и ближнем космосе положена пространственная линейная засечка или так называемая спутниковая дальнометрия. Измерение дальности одного спутника дает сферическую поверхность соответствующего радиуса, измерение дальности еще одного спутника дает еще одну сферическую поверхность, которая в пересечении с первой образует окружность (рис. 3,а). Измерив дальности трех спутников можно ограничить местоположение определяемого в пространстве пункта двумя точками, получившимися в результате пересечения трех сфер (рис. 3,б). И, наконец, измеренная дальность четвертого спутника дает однозначное решение поставленной задачи. Таким образом, с точки зрения геометрии для

однозначного определения положения пункта следует иметь значения дальностей четырех спутников.

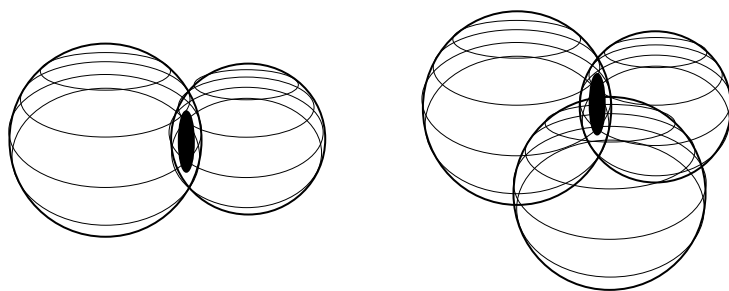


Рис. 3. Пространственная линейная засечка: а - измерение дальности двух спутников; б – измерение дальности трех спутников

### **5.1.1. СОСТАВЛЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО ПРОЕКТА КАРКАСНОЙ СЕТИ И СПУТНИКОВОЙ ГОРОДСКОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ 1 КЛАССА**

Проектирование КС и СГГС-1 следует начинать с расчета необходимого количества пунктов исходя из требований к плотности этих сетей (раздел 1.2). Например, общая площадь города, согласно эскизу его генерального плана, 140 км<sup>2</sup>. Тогда необходимое количество пунктов КС составляет 3-4 (объем каркаса в любом случае должен быть не менее трех пунктов), а пунктов СГГС-1 - в пределах от 4 до 28.

При выборе положения пунктов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

- треугольники в сетях должны быть по возможности равноугольными, допускается минимальное значение угла 20°, а максимальное - 160°;

- каждый пункт СГГС-1 должен быть связан с ближайшими пунктами сети не менее чем по трем направлениям, при этом, по

крайней мере, одно из этих направлений должно опираться на исходный пункт или на пункт КС;

- пункты КС целесообразно размещать по периметру участка работ (территории города), а пункты СГГС-1, в основном, внутри участка;

- пункты должны быть доступны для наблюдений в любое время суток;

- обеспечена долговременная сохранность и стабильность положения центров;

- отсутствие на пунктах препятствий, закрывающих горизонт выше  $15^\circ$ .

Каждому пункту сети присваивается его название, соответствующее названию ближайшего населенного пункта, характерному элементу ситуации, рельефа и т.п.

Пример типовой схемы спутниковой городской геодезической сети, опирающейся на два исходных пункта, приведен на рис.4.

После составления предварительной схемы по карте анализируется местоположение пунктов, включенных в городскую геодезическую сеть, на предмет наличия вокруг них препятствий. Для каждого пункта, на котором отмечаются ограничения обзора наблюдаемых спутников из-за наличия тех или иных препятствий, составляется таблица видимости небосвода. В данном проекте такую таблицу (таблица 5) следует составить только на один пункт сети, где, по мнению студента, имеются наибольшие ограничения обзора спутников. Для определения магнитного азимута на каждое препятствие с помощью транспортира от северного направления вертикальной линии километровой сетки и направления на предмет измеряют дирекционный угол. В измеренное значение дирекционного угла, согласно схеме исходных направлений, вводят поправки за сближение меридианов и склонение магнитной стрелки. Расстояния до препятствий измеряют линейкой с точностью до 1 мм (50 м на местности). Угол наклона вычисляют с точностью до  $1^\circ$  по формуле

$$\nu = \arctg \frac{h}{d},$$
 где  $h$  - превышение соответствующего препятствия над пунктом, отметка которого определяется по горизонталям.



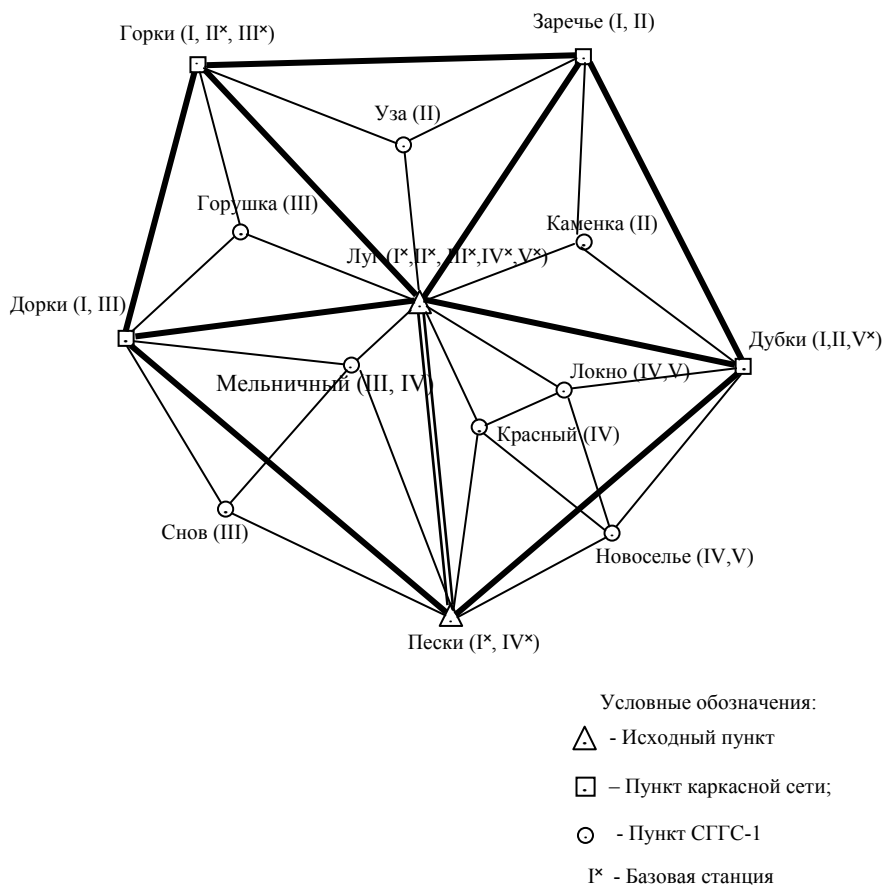


Рис. 4. Схема спутниковой городской геодезической сети с расстановкой антенн приемников

Таблица 5

Таблица видимости небосвода (пример)

Номер препятствия	Магнитный азимут °	Расстояние, м	Превышение, м	Угол наклона °	Примечание
1	19	1150	92	5	Холм с отметкой вершины 212 м
2	178	300	40	8	Лес высотой 20 м
3	216	950	95	6	Холм с отметкой 215 м

### 5.1.2. ПРЕДРАСЧЕТ ТОЧНОСТИ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ

Проект спутниковой городской сети по точности должен соответствовать требованиям, указанным в таблице 1 (раздел 1.2). Для оценки качества графического проекта необходимо выбрать наиболее удаленные по отношению друг к другу пункты КС, например, «Горки», «Заречье», а также пункты СГГС-1, например, «Снов», «Красный» (рис. 4). Затем, учитывая, что на пунктах КС и СГГС-1 допускается выполнение работ с применением спутниковых приемников только 1 и 2 группы и, руководствуясь требованиями, приведенными в таблице 6 [6], следует выбрать соответствующие двухчастотные приемники.

Например, погрешность определения взаимного положения пунктов в плане двухчастотными GPS-приемниками «Leica GX 1220» фирмы «Leica» и «Legacy E GGD» фирмы «Торсон» в статическом режиме составляет  $3 \text{ мм} + 0,5 \cdot 10^{-6} D$ . Тогда, принимая расстояние между пунктами КС «Горки» и «Заречье» равное 10,6 км, а между пунктами СГГС-1 «Снов» и «Красное» - 7,4 км, получим соответственно  $m_{\text{КС}} = 8,3 \text{ мм}$  и  $m_{\text{СГГС-1}} = 6,7 \text{ мм}$ . Если считать, что погрешность центрирования антенн на каждом пункте не превышает 1 мм, то при допустимых значениях 15 мм и 20 мм, ожидаемая погрешность определения взаимного положения пунктов КС и СГГС-1 не превысит соответственно 8,4 мм и 6,8 мм. В данном примере не

учтены связующие элементы оцениваемых пунктов сети, поэтому результаты предрасчета являются явно заниженными. Исходя из практического опыта, средние погрешности взаимного положения пунктов составляют 1/3 от вычисленных значений, т.е. приведенный пример следует рассматривать как оценку предельных значений погрешностей.

По завершении предрасчета точности, согласно выбранной схеме, составляется графическая часть проекта сети, где показыва-ются все связи при наблюдениях на каждом пункте. Указанный гра-фический проект оформляют на кальке (лист 2), где обозначают также границы городской территории.

Таблица 6

**Характеристики некоторых GPS-приемников**

Тип приемника	Группа	Число каналов, не менее	Частоты	Точность
Двухсистемные, двухчастотные и более	1	24	L1/L2 (GPS) + L1/L2 (ГЛОНАСС)	Не более $3\text{мм} + 1 \cdot 10^{-6} D$
Односистемные, двухчастотные	2	9	L1/L2 (GPS) или L1/L2 (ГЛОНАСС)	$(3 - 5\text{мм}) + 10^{-6} D$
Односистемные, одночастотные	3	9	L1 (GPS) или L1 (ГЛОНАСС)	$10\text{мм} + 2 \cdot 10^{-6} D$

### 5.1.3. ЗАКЛАДКА ЦЕНТРОВ ПУНКТОВ СПУТНИКОВОЙ СЕТИ

Закрепление пунктов КС и СГТС-1 на незастроенных территориях с сезонным промерзанием грунта рекомендовано осуществлять центрами глубокого заложения [6], например, типа 161 (рис. 5) или типа 162 (рис.6) [5].

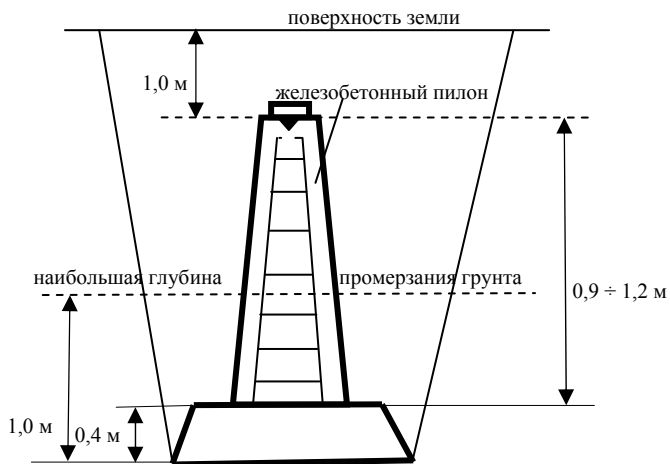


Рис. 5. Центр типа 161

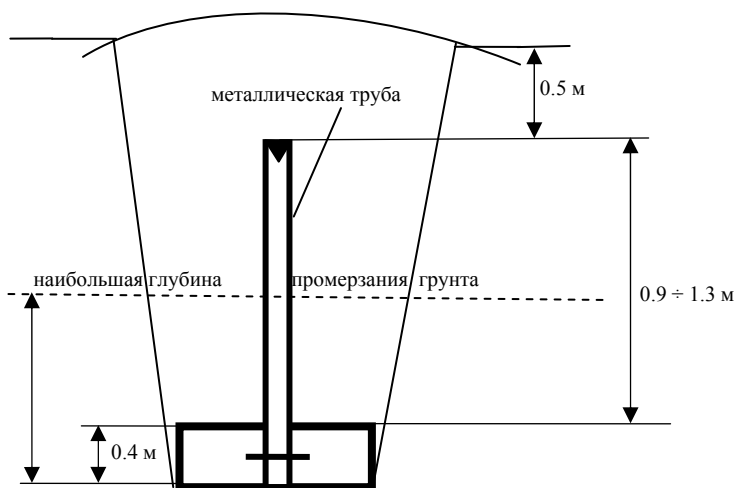


Рис. 6. Центр типа 162

При этом установка ориентирных пунктов не предусмотрена, а для обозначения заложенных центров на расстоянии от 1 до 3 м устанавливают опознавательные железобетонные столбы. Для лучшего опознавания выступающая часть столба маркируется краской. В столб цементируются металлические охранные пластины с надписью «Геодезический пункт. Охраняется государством».

#### **5.1.4. РЕКОМЕНДУЕМАЯ МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ НА ПУНКТАХ СПУТНИКОВОЙ СЕТИ**

Геодезическое применение систем GPS, ГЛОНАСС основано на дифференциальном методе фазовых спутниковых измерений, при которых участвуют не менее двух приемников и четыре или более спутников. В данном проекте будем полагать, что количество используемых для наблюдений приемников соответствует суммарному числу исходных пунктов и пунктов каркасной сети. В нашем примере (рис.4) для наблюдений на все пунктах запроектированной сети можно использовать 6 приемников ранее выбранного типа.

Наблюдения следует выполнять сетевым методом с использованием статического режима в два этапа [6]. На первом этапе производится установка приемников на двух исходных пунктах и всех пунктах КС. На втором этапе выполняют наблюдения на пунктах СГГС-1. Сущность сетевого метода заключается в том, что при определении положения какого-либо пункта, например пункта СГГС-1, как минимум два приемника должны быть установлены на базовых станциях (в данном случае на ИП или пунктах КС), положение которых уже установлено. Если на первом этапе наблюдений предполагается установка приемников на двух базовых (ИП) и определяемых пунктах (КС), т.е. так, чтобы одновременно отнаблюдать все пункты КС, то на втором этапе необходимо предусмотреть расстановку приемников по зонам наблюдений.

В пояснительной записке проекта необходимо представить схему расстановки спутниковых антенн, где римскими числами должно быть обозначено положение каждого приемника в соответствующей по времени наблюдений зоне I, II и т.д. (рис. 4). При выборе положения приемников в каждой зоне необходимо учитывать

их количество (в нашем примере – 6), минимальное число базовых станций и удобство перемещения наблюдателей по рационально выбранным маршрутам.

Программа спутниковых наблюдений должна состоять из сдвоенных, равных по времени сеансов наблюдений: на пунктах КС продолжительностью не менее 3 часов каждый; на пунктах СГГС-1 – не менее 1,5 часов [6].

Непосредственная работа на каждом пункте заключается в установке оборудования, ведении журнала полевых наблюдений с указанием имени пункта (ID), типа приемника, типа антенны, параметров записи информации (угла возвышения над горизонтом, частоты записи, времени включения и выключения приемника, фамилии оператора, даты наблюдений). Ежедневно перед началом наблюдений оператор должен производить проверку готовности комплекта спутникового оборудования. Измерение высоты антенны (для определения отметки пункта) следует осуществлять дважды: до начала и по окончании наблюдений с изменением высоты установки антенны не менее чем на 10 см. После окончания сеанса спутниковых наблюдений следует выполнять также проверку центрирования антенны.

Для предварительной оценки точности результатов измерений можно воспользоваться сравнением фактической невязки приращений координат по замкнутым фигурам (треугольникам)  $W_f$  с допустимой невязкой  $W_{f_{\text{доп}}}$ . Допустимая невязка приращений координат вычисляется по формуле:

$$W_{f_{\text{доп}}} = \sqrt{(m_{1_{\text{доп}}})^2 + (m_{2_{\text{доп}}})^2 + (m_{3_{\text{доп}}})^2}, \quad (1)$$

где  $m_{i_{\text{доп}}}$  - допустимые значения погрешностей по сторонам треугольника. Для СГГС-1 допустимые погрешности измерения длины определяются по формулам:

- для линии длиной менее 5 км  $m_{i_{\text{доп}}} = (5 + 1 \cdot 10^{-6} D)$  мм;

- для линии длиной более 5 км  $m_{i_{\text{доп}}} = (5 + 5 \cdot 10^{-6} D)$  мм.

Фактическая невязка приращений координат рассчитывается следующим образом:

$$W_f = \sqrt{(W_{\Delta x})^2 + (W_{\Delta y})^2}, \quad (2)$$

где  $W_{\Delta x}$ ,  $W_{\Delta y}$  - невязки по осям координат.

В данной курсовой работе предлагается определить величину допустимой невязки приращений координат для 3-5 треугольников СГГС-1. Результаты вычислений следует представить в виде таблицы 7.

Таблица 7

**Расчет допустимых погрешностей сторон и невязки в треугольниках**

Треугольник	Сторона	Длина стороны, км	Допустимая погрешность стороны, мм	Допустимая невязка в треугольнике, мм
Снов-Красный-Пески	Снов-Красный	7,4	42,0	68
	Красный-Пески	5,8	34,0	
	Пески-Снов	7,3	41,5	

## 5.2. СЕТЬ ПОЛИГОНОМЕТРИИ

### 5.2.1. СОСТАВЛЕНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ ПОЛИГОНОМЕТРИИ 4 КЛАССА, 1 И 2 РАЗРЯДОВ

Проект полигонометрических сетей составляется в соответствии с требованиями Сводами правил [8, 10] и Руководства [6] (табл.8).

Напомним, что полигонометрия 4-го класса и 1-го разряда проектируется на всю территорию будущего города (на площадь около 150 км<sup>2</sup>), а полигонометрия 2-го разряда (в целях упрощения проектирования) – только на зону жилой застройки.

Исходными данными для полигонометрии проектируемого класса (разряда) должны служить пункты городской спутниковой сети и пункты полигонометрии более высокого класса или разряда.

Таблица 8

## Основные характеристики полигонометрической сети

Показатели	4 класс	1 разряд	2 разряд
Предельные длины отдельных полигонометрических ходов при измерении линий электронными тахеометрами в зависимости от числа сторон в ходе, км ( $n$ – число сторон в ходе)	8 при $n = 30$ 10 "-" $n = 20$ 12 "-" $n = 15$ 15 "-" $n = 10$ 20 "-" $n = 6$	10 при $n = 50$ 12 "-" $n = 40$ 15 "-" $n = 25$ 20 "-" $n = 15$ 25 "-" $n = 10$	6 при $n = 30$ 8 "-" $n = 20$ 10 "-" $n = 10$ 12 "-" $n = 8$ 14 "-" $n = 6$
Предельные длины ходов, км, между: исходным пунктом и узловой точкой	2/3 длины отдельного хода, определяемого в зависимости от числа сторон в ходе	"-	"-
узловыми точками	1/2, то же При уменьшении числа сторон хода соответственно на 2/3 и 1/2	"-	"-
Длины сторон хода, км: наименьшая	0,25	0,12	0,08
наибольшая	2,00	0,80	0,35
Средняя квадратическая погрешность измеренного угла (по невязкам в ходе), с, не более	3	5	10
Угловая невязка в ходах или полигонах, с, не более ( $n$ - число углов в ходе или полигоне)	$5\sqrt{n}$	$10\sqrt{n}$	$20\sqrt{n}$



Примечания:

1. В полигонометрической сети следует предусматривать минимальное число порядков, ограничиваясь, как правило, полигонометрией 4 класса и 1 разряда.
2. При измерении длин линий светодальномерами и (или) электронными тахеометрами предельные длины сторон не устанавливаются.
3. В ходах полигонометрии 1 разряда длиной до 1 км и 2 разряда длиной до 0,5 км допускается абсолютная линейная невязка 10 см.
4. Измерение углов на пунктах полигонометрии при двух направлениях производится без замыкания горизонта.

Напомним, что полигонометрия 4-го класса и 1-го разряда проектируется на всю территорию будущего города (на площадь около 150 км<sup>2</sup>), а полигонометрия 2-го разряда (в целях упрощения проектирования) – только на зону жилищной застройки.

Проектируемая полигонометрия развивается или в виде отдельных ходов, или в виде систем с узловыми пунктами. Отдельный полигонометрический ход должен опираться на два исходных пункта; система полигонометрических ходов – также не менее чем на два исходных пункта. Для контроля угловой привязки полигонометрических ходов на исходных пунктах, как правило, используются по два исходных направления.

Места для закладки пунктов следует выбирать с таким расчетом, чтобы обеспечить:

- гарантированную долговременную видимость между соседними пунктами (отсутствие молодой поросли леса или кустарника, участков, подлежащих застройке и т.д.);
- длительную сохранность пунктов;
- возможность использования пунктов в качестве точек съемочной сети;
- удобный подъезд (подход) к пунктам;
- хорошее опознавание пунктов на местности.

Кроме того, следует стремиться к тому, чтобы полигонометрические ходы были, по возможности, вытянутыми (не имели крутых изломов), а стороны – как можно более длинными.

Составление проекта полигонометрии целесообразно начинать с расчета необходимого числа пунктов. В соответствии с требованиями СП [8] плотность пунктов всех классов и разрядов плановой сети должна быть доведена:

- на застроенной территории – до четырех пунктов на 1 км<sup>2</sup>;
- на незастроенной территории – до одного пункта на 1 км<sup>2</sup>.

Примерный расчет необходимого числа пунктов плановой геодезической сети представлен в таблице 9. Рекомендуемое соотношение между числом пунктов проектируемой полигонометрии следующее, %: 4-го класса – 15-20; 1-го разряда – 30-35; 2-го разряда – 45-55.

Таблица 9

**Примерный расчет необходимого числа пунктов**

Городская зона	Характер территории	Число пунктов на 1 км <sup>2</sup>	Примерная площадь		Число пунктов
			%	км <sup>2</sup>	
Жилая	Застроенная	4	50	75	300
Промышленная	Незастроенная	1	20	30	30
Зона отдыха	Незастроенная	1	30	45	45
Всего			100	150	375*

\* В это число входят, разумеется, пункты спутниковой сети

Графический проект полигонометрии 4-го класса составляют на том же листе кальки, что и проект спутниковой сети (лист 2), а проект полигонометрии 1-го и 2-го разрядов – на отдельном листе кальки (лист 3); на этом же листе должен быть представлен и проект нивелирования IV класса.

### 5.2.2. КОНСТРУКЦИЯ ЦЕНТРОВ

В соответствии с Правилами [5] пункты полигонометрии 4-го класса, 1-го и 2-го разрядов закрепляются:

- в области сезонного промерзания грунтов – центрами типа 158 оп. знак;
- в области многолетней мерзлоты – центрами типов 178 и 179;
- в районах подвижных песков и на заболоченных территориях центрами типов 15, 183к, 183 оп. знак, 188 оп. знак. Схема областей применения указанных центров приведена в приложении 3 Правил [5]. Чертежи центров и схемы внешнего оформления пунктов полигонометрии представлены в приложениях к Правилам.

### 5.2.3. ПРЕДРАСЧЕТ ТОЧНОСТИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ СЕТЕЙ

Предрасчет точности любой проектируемой сети может быть сплошным, когда определяется точность всех элементов сети (включая взаимное положение их пунктов), или выборочным, когда предрачивается точность лишь нескольких элементов сети (как, правило, самых слабых, т.е. определяемых в данной сети с наименьшей точностью). Очевидно, что сплошной предрасчет выполняется только на ЭВМ.

Кроме того, для полигонометрических сетей различают строгий и приближенный (упрощенный) предрасчет точности. Строгий предрасчет выполняется на ЭВМ в полном соответствии с требованиями метода наименьших квадратов. Упрощенный предрасчет делается по приближенным формулам и дает примерное представление о точности оцениваемого элемента сети.

При выполнении курсовой работы рекомендуется ограничиться выборочным упрощенным предрасчетом точности: необходимо оценить положение слабого пункта в отдельном (желательно самом длинном) полигонометрическом ходе 4-го класса. Для предрасчета составляют рабочую схему оцениваемого полигонометрического хода (рис. 7).

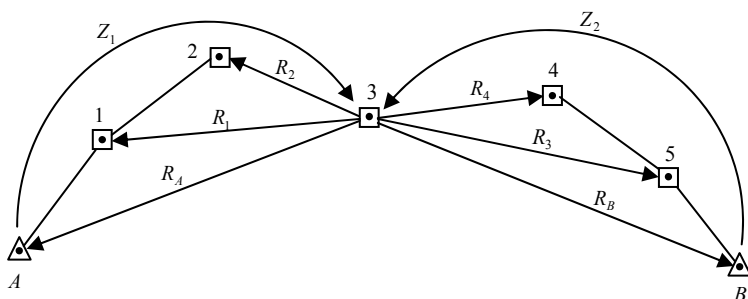


Рис. 7. Рабочая схема полигонометрического хода

Очевидно, что наиболее слабым будет пункт 3, расположенный в середине хода. Чтобы оценить точность положения этого пункта, направляем к нему два висячих хода:  $z_1$  и  $z_2$ . Средняя квад-

рагическая погрешность положения конечного пункта висячего хода определяется по формуле:

$$m^2 = \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [R^2] + nm_S^2, \quad (3)$$

где  $m_{\beta}$  - средняя квадратическая погрешность измерения угла;  $\rho$  - число секунд в радиане;  $R$  - расстояние от оцениваемого пункта до каждого пункта висячего хода;  $m_S$  - средняя квадратическая погрешность измерения сторон;  $n$  - число сторон висячего хода. Заметим, что первое слагаемое характеризует влияние погрешностей угловых измерений, а второе слагаемое – влияние погрешностей линейных измерений.

Значения  $m_{\beta}$  и  $m_S$  определяются классом (разрядом) полигонометрии. Так, для полигонометрии 4-го класса (табл. 7);  $m_{\beta} = 3''$ ;  $m_S = 2$  см. Расстояния  $R$  измеряют по схеме полигонометрии (лист 3) с точностью до 1 мм (50 м на местности). Заметим, что значения  $R$  целесообразно выразить в километрах (табл. 10,11).

Таблица 10

Определение  $[R^2]$ . Ход  $z_1$

Пункт	$R$ , км	$R^2$ , км <sup>2</sup>
А	2,55	6,50
1	1,75	3,06
2	0,90	0,81
		10,37

Таблица 11

Определение  $[R^2]$ . Ход  $z_2$

Пункт	$R$ , км	$R^2$ , км <sup>2</sup>
В	2,70	7,29
5	1,85	3,42
4	1,00	1,00
		11,71

Конечный результат (средняя квадратическая погрешность положения слабого пункта) следует получить в сантиметрах. Учитывая, что  $1 \text{ км} = 10^5 \text{ см}$ , а число секунд в радиане (с округлением до трех значащих цифр)  $\rho = 2,06'' \cdot 10^5$ , при вычислении левого слагаемого в формуле (3) нет необходимости в переводе из одних единиц в другие: если  $[R^2]$  выразить в квадратных километрах и принять  $\rho = 2,06''$ , то результат автоматически будет выражен в квадратных сантиметрах.

В итоге имеем:- для всячего хода  $z_1$

$$m_1^2 = \frac{2^2}{2,06^2} \cdot 10,37 + 3 \cdot 2^2 = 21,77 \text{ см}^2; m_1 = 4,7 \text{ см};$$

- для всячего хода  $z_2$   $m_2^2 = \frac{2^2}{2,06^2} \cdot 11,77 + 3 \cdot 2^2 = 23,04 \text{ см}^2;$

$m_2 = 4,8 \text{ см}.$

Окончательную среднюю квадратическую погрешность положения слабого пункта 3 определяют по формуле

$$m = \frac{m_1 m_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}. \quad (4)$$

Полученное значение не должно превышать 5 см. В данном примере  $m = 3,4 \text{ см}.$

#### **5.2.4. РЕКОМЕНДУЕМАЯ МЕТОДИКА УГЛОВЫХ И ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПОЛИГОНОМЕТРИИ**

Для производства угловых и линейных измерений следует рекомендовать электронные тахеометры. При этом число приемов для угловых измерений определяется типом угломерного блока тахеометра, а число приемов для линейных измерений – типом дальномерного блока тахеометра, т.е. соответствующими погрешностями измерений оптическими теодолитами типа Т2 или Т5 и светодальномером СТ5 (таблица 12).

Угловые и линейные измерения должны быть выполнены по трехштативной системе, что позволяет, во-первых, уменьшить влияние погрешностей центрирования приборов и визирных целей, а во-вторых, повысить производительность труда.

Как известно, в полигонометрии применяют два основных способа угловых измерений:

- способ отдельного угла (при наличии на пункте только двух направлений);

- способ круговых приемов (если направлений на пункте более двух).

Таблица 12

**Число приемов угловых и линейных измерений в полигонометрии**

Тип прибора	Число приемов		
	4-й класс	1-й разряд	2-й разряд
	Угловые измерения		
Теодолит Т2	6	2	2
Теодолит Т5	-	3	2
	Линейные измерения		
Светодальномер «Блеск» СТ5	3	2	1

Примечание: под приемом понимают два наведения на отражатель.

Очевидно, что на подавляющем большинстве пунктов полигонометрии применяется способ отдельного угла; способ круговых приемов применяется лишь на исходных и узловых пунктах.

При измерениях способом отдельного угла в обоих полуприемах алидаду вращают только в одном направлении (например, только по ходу часовой стрелки). При измерениях способом круговых приемов в первом полуприеме (при круге лево) алидаду вращают по ходу часовой стрелки, а во втором полуприеме (при круге право) – в обратном направлении. При переходе от одного приема к другому лимб переставляется на величину  $180^0/n$  ( $n$  - число приемов).

Допуски на результаты угловых измерений приведены в табл. 13. Приемы, не удовлетворяющие указанным допускам, повторяются на тех же установках лимба.

По завершении угловых измерений на исходном пункте оценивается качество привязки: сравнивается значение контрольного угла, т.е. угла между двумя исходными направлениями, полученное по результатам измерений, со значением этого угла, вычисленным по дирекционным углам исходных направлений. В полигонометрии 4-го, класса, 1-го и 2-го разряда расхождение не должно превышать соответственно 6, 10 и 20".

При выполнении линейных измерений следует руководствоваться теми допусками, которые приведены в техническом описании тахеометра (светодальномера).

Таблица 13

**Допуски на результаты угловых измерений в полигонометрии**

Элементы измерений, к которым относятся допуски	Тахеометр соответствующий по точности типу теодолита	
	T2	T5
Расхождение между значениями угла, полученного из двух полуприемов	8"	0,2'
Колесание значений угла, полученного из разных приемов	8"	0,2'
Расхождение между результатами наблюдений на начальное направление в начале и конце полуприема (незамыкание горизонта)	8"	0,2'

**5.2.5. СВОДКА ОБЪЕМОВ РАБОТ ПО ПОЛИГОНОМЕТРИИ**

Проект создания полигонометрических сетей завершается составлением сводки объемов работ (табл. 14).

Таблица 14

**Сводка объемов работ по полигонометрии**

Показатель	4-й класс	1-й разряд	2-й разряд	Всего
Число закладываемых пунктов				
Длина ходов полигонометрии				

## 6. ПРОЕКТ РАЗВИТИЯ ВЫСОТНОГО ОБОСНОВАНИЯ

### 6.1. ГРАФИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ НИВЕЛИРНЫХ СЕТЕЙ II, III КЛАССОВ

Проект нивелирных сетей составляется в соответствии с требованиями Сводов правил [8,10] и Инструкции [4]. Основные характеристики нивелирных ходов приведены в таблице 15. В Своде правил [10] не указана предельная длина хода между исходным и узловым пунктами. Примем ее (с некоторым запасом) равной предельной длине хода между узловыми пунктами.

Таблица 15

Основные характеристики нивелирных ходов

Показатели	Класс нивелирования	
	II	III
Расстояния между знаками (марками, реперами) в нивелирных ходах, км, не более:		
- на застроенных территориях	2	0,3
- на незастроенной территории	3	2,0
Периметр полигонов или длины ходов между исходными марками (реперами), км, не более	40	15
Длины ходов между узловыми точками, км, не более	10	5
Предельная невязка в ходах (полигонах), мм, при среднем числе станций на 1 км хода:		
- не более 15	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$
- более 15	$6\sqrt{L}$	$2,6\sqrt{pn}$

Обозначения:  $L$  - длина хода в км;  $n$  - число штативов в ходе

Исходными пунктами для проектируемой нивелирной сети должны служить пункты (реперы) более высокого класса.

Нивелирные сети строятся или в виде отдельных ходов, или в виде систем ходов с узловыми пунктами. Отдельный нивелирный ход и система нивелирных ходов должны опираться не менее чем на два исходных пункта.



Нивелирные ходы проектируются по наиболее благоприятным линиям (незначительный уклон, минимальное число переходов через водные преграды, отсутствие заболоченных мест и т.д.).

На рассматриваемой территории нет капитальных зданий (город только проектируется), поэтому нивелирные сети предстоит закреплять грунтовыми реперами.

Место для закладки репера должно обеспечивать:

- длительную сохранность пункта;
- надежность репера (стабильное положение центра по высоте);
- хорошую опознаваемость.

Исходя из этого, места для закладки реперов следует намечать на возвышениях рельефа с крупнозернистыми слабоувлажненными грунтами. Уровень грунтовых вод должен располагаться не ближе 3 м от поверхности земли. Не следует закладывать реперы в затопляемых и заболоченных местах, а также на косогорах и крутых подъемах. Для лучшего опознавания реперы рекомендуется закладывать вблизи характерных ориентиров.

Если на линии нивелирования встречается водное препятствие шириной более 150 м, то на каждом берегу необходимо заложить по одному реперу (в незатопляемой зоне). Превышение между реперами должно быть не более 0,5 м.

При проектировании нивелирной сети II класса необходимо включить в эту сеть спутниковые ИП, а в нивелирную сеть III класса – пункты КС и СГГС-1.

## **6.2. КОНСТРУКЦИЯ РЕПЕРОВ**

В соответствии с Правилами [5] грунтовые реперы нивелирования II и III классов закрепляются:

- в области сезонного промерзания грунтов – центрами типов 160 оп. знак, 162 оп. знак, 9 оп. знак, 176 оп. знак (последние два типа центров – только для скальных грунтов);
- в области многолетней мерзлоты – центрами типов 150 оп. знак и 165 оп. знак (средняя и северная зоны), 165 оп. знак (южная зона);

- в районах подвижных песков и на заболоченных территориях – центрами типов 15, 183 к, 183 оп. знак, 188 оп. знак.

Схема областей применения типов реперов приведена в приложении 3 Правил [5]. Чертежи центров и схемы внешнего оформления реперов представлены в приложениях к Правилам.

### 6.3. ПРЕДРАСЧЕТ ТОЧНОСТИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ НИВЕЛИРНЫХ СЕТЕЙ

Заданием на курсовое проектирование предусматривается выборочный предрасчет точности нивелирной сети II класса, т.е. определение средней квадратической погрешности высоты наиболее слабого репера сети.

Для предрасчета точности составляется рабочая схема (рис. 8) нивелирной сети II класса (не обязательно с соблюдением масштаба), на которой обозначаются все исходные и узловые пункты, а также оцениваемый (наиболее слабый) репер. Остальные реперы внутри нивелирных ходов (звеньев) на схеме не показываются.

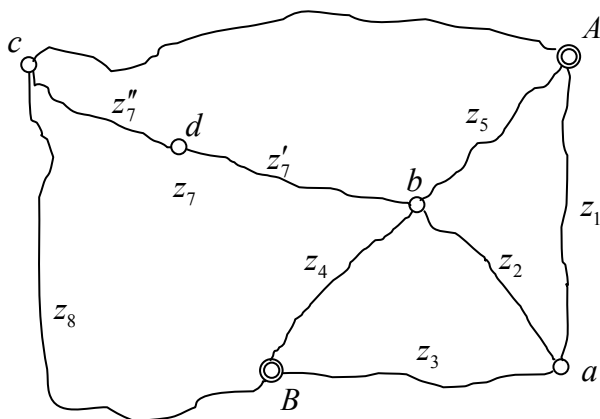


Рис. 8. Рабочая схема нивелирной сети II класса (предрасчет способом эквивалентной замены)

Представленная на рис. 8 сеть - система нивелирных ходов с тремя узловыми пунктами ( $a, b, c$ ). Она опирается на два исходных репера I класса ( $A$  и  $B$ ). Очевидно, что наиболее слабым в этой сети, скорее всего, будет репер  $d$ , расположенный примерно в середине самого длинного звена между узловыми пунктами.

Нивелирные звенья обозначаются через  $z_i$  ( $i$  – номер звена), причем то звено, где расположен оцениваемый репер (в нашем случае -  $z_7$ ), целесообразно разделить на два участка:  $z'_7$  и  $z''_7$ .

Для предрасчета точности необходимо измерить длину  $L_i$  всех звеньев и участков. Измерения выполняют по схеме нивелирной сети (лист 4) курвиметром или с помощью нитки с точностью до 2 мм (0,1 км). Длину звеньев принято выражать в километрах.

Предрасчет точности данной нивелирной сети (рис. 9) целесообразно выполнить параметрическим способом. При этом требуется вычислить веса звеньев:

$$p_i = \frac{C}{L_i}, \quad (5)$$

где  $C$  – произвольная постоянная (так называемая длина хода единичного веса), выраженная в километрах. В рассматриваемом примере примем  $C = 100$  км. Значения весов вычисляют с точностью до 0,1.

Для предрасчета точности применим способ эквивалентной замены (это одна из модификаций параметрического способа). Основное правило эквивалентной замены: все ходы  $z_i, z_j, \dots$ , сходящиеся к узловому пункту от исходных, можно заменить одним ходом  $z_{i,j}, \dots$ , идущим от воображаемого исходного пункта  $K$ . Вес  $P_{i,j}$  и длина этого хода  $L_{i,j}$  будут равны

$$P_{i,j,\dots} = p_i + p_j + \dots; \quad (6)$$

$$L_{i,j} = \frac{C}{P_{i,j}}. \quad (7)$$

Применив в рассматриваемом примере это правило к ходам  $z_1$  и  $z_3$ , получим преобразованную схему нивелирной сети (рис. 9,а). При этом очевидно, что репер  $a$  как бы перестал быть узловым. В соответствии с формулами (6) и (7)

$$p_{1,3} = p_1 + p_3; \quad (8)$$

$$L_{1,3} = \frac{C}{p_{1,3}}. \quad (9)$$

Теперь можно объединить ходы  $z_{1,3}$  и  $z_2$  в один ход  $z_{1,3+2}$  (рис. 9,б) с параметрами:

$$L_{1,3+2} = L_{1,3} + L_2; \quad (10)$$

$$p_{1,3+2} = \frac{C}{L_{1,3+2}}, \quad (11)$$

причем репер  $a$  вообще как бы исчезает.

Далее применяем правило эквивалентной замены к ходам  $z_{1,3+2}$ ,  $z_4$  и  $z_5$ , заменяя их одним ходом  $z_{(1,3+2),4,5}$  (рис. 9,в):

$$p_{(1,3+2),4,5} = p_{1,3} + p_2 + p_4 + p_5; \quad (12)$$

$$L_{(1,3+2),4,5} = \frac{C}{p_{(1,3+2),4,5}}. \quad (13)$$

Наконец, объединяем ходы  $z_{(1,3+2),4,5}$  и  $z_{7'}$  в один ход  $z_{(1,3+2),4,5+7'}$  (рис. 9,г):

$$L_{(1,3+2),4,5+7'} = L_{(1,3+2),4,5} + L_{7'}; \quad (14)$$

$$p_{(1,3+2),4,5+7'} = \frac{C}{L_{(1,3+2),4,5+7'}}. \quad (15)$$

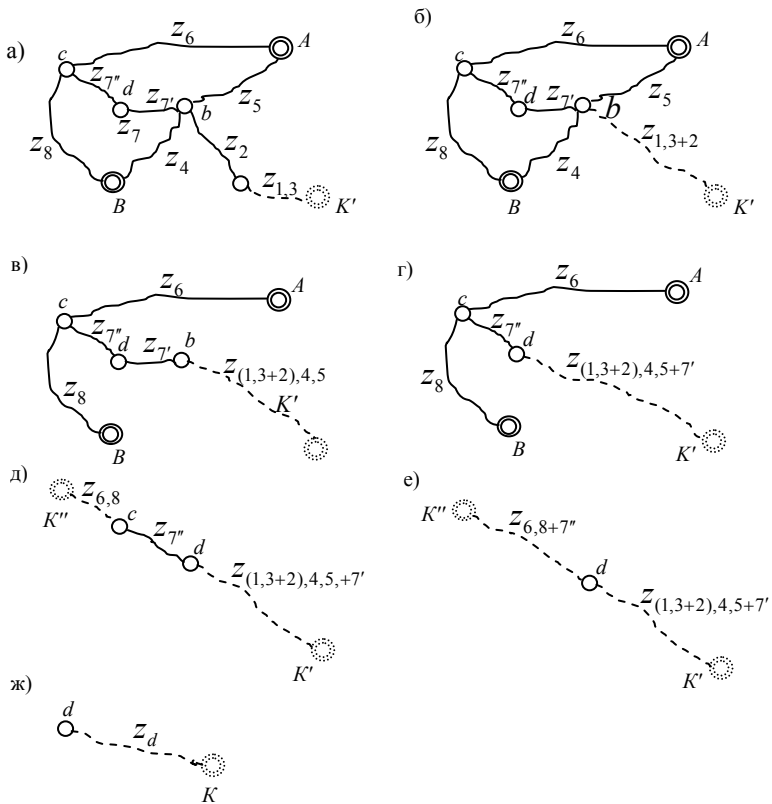


Рис. 9. Эквивалентные преобразования нивелирной сети II класса

Путем выполненных эквивалентных преобразований нивелирной сети образован ход к оцениваемому реперу  $d$  с одной стороны (с юго-востока). Действуя аналогичным образом, необходимо подойти к реперу  $d$  с северо-запада (рис. 9, д, е).

Применяя правило эквивалентной замены к ходам  $z_{(1,3+2),4,5+7'}$  и  $z_{6,8+7''}$  получаем эквивалентный (висячий) ход  $z_d$  от

воображаемого исходного репера  $K$  до оцениваемого репера  $d$  (рис. 9,ж). Вес этого хода и будет весом высоты репера  $d$  :

$$P_d = P_{(1,3+2),4,5+7'} + P_{6,8+7'} . \quad (16)$$

Длина эквивалентного хода обратно пропорциональна его весу:

$$L_d = \frac{C}{P_d} . \quad (17)$$

Особое внимание следует уделить правильному написанию индексов ходов:

- запятая разделяет индексы ходов, идущих от исходных пунктов (при этом складываются веса);
- плюс ставится перед номером хода между узловыми пунктами (при этом складывается длина ходов).

Вычисления приведены в таблице 16. Легко заметить, что веса ходов между узловыми пунктами в эквивалентных преобразованиях не участвуют, поэтому в соответствующих местах таблицы 15 следует поставить прочерки.

Таблица 16

Эквивалентная замена нивелирной сети для слабого пункта  $d$

$C = 100$  км

Ход	$L$ , км	$P$
1	2	3
$z_1$	13,6	7,4
$z_3$	12,4	8,1
$z_{1,3}$	6,5	15,5
$z_2$	10,6	-
$z_{1,3+2}$	17,1	5,8
$z_4$	13,0	7,7
$z_5$	11,8	8,5
$z_{(1,3+2)4,5}$	4,5	22,0
$z_{7'}$	7,0	-

1	2	3
$z_6$	12,8	7,8
$z_8$	12,4	6,8
$z_{6,8}$	6,8	14,6
$z_{7'}$	7,2	-
$z_{6,8+7'}$	14,0	7,1
$z_d$	6,3	15,8

Средняя квадратическая погрешность слабого репера  $d$  определяется по формуле

$$M_d = m_{\text{км}} \sqrt{L_d}, \quad (18)$$

где  $m_{\text{км}}$  - СКП измерения превышения на 1 км нивелирного хода, для нивелирования II класса  $m_{\text{км}} = 2$  мм.

Полученная СКП  $M_d$  (вычисляемая с точностью до двух значащих цифр) не должна превышать 5-6 мм. В рассмотренном примере  $M_d = 2\sqrt{6,3} = 5,0$  мм.

Как видно, способ эквивалентной замены позволяет без особого труда выполнить выборочный предрасчет точности нивелирной сети, однако применение этого способа довольно затруднительно (а порой и невозможно), если узловые пункты образуют замкнутые полигоны. Так, в сети (рис. 10), состоящей из отдельного хода между исходными пунктами  $A$  и  $B$  и системы нивелирных ходов, узловые пункты  $a$ ,  $b$  и  $c$  образуют замкнутый полигон и определить вес высоты слабого репера  $d$  способом эквивалентной замены не представляется возможным. Для таких целей целесообразно применить способ полигонов (это модификация традиционного коррелятного способа).

Для предрасчета точности нивелирной сети способом полигонов составляют рабочую схему (рис. 11). На схему выписывают длины всех звеньев и участков ( $c-d$ ,  $d-b$ ) с точностью до 0,1 км. В сети намечают четыре полигона: три замкнутых ( $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3$ ) и один

разомкнутый ( $\Pi_4$ ). Разомкнутый полигон (между исходными пунктами  $A$  и  $B$ ) целесообразно выбирать с таким расчетом, чтобы он включал наименьшее число звеньев.

При выборе направлений полигонов следует руководствоваться правилом, предложенным проф. В. В. Поповым: на любом звене, принадлежащем двум смежным полигонам, направления этих полигонов должны быть противоположны.

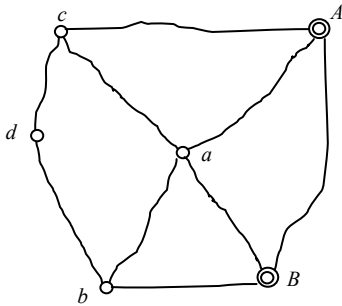


Рис.10. Схема нивелирной сети II класса (предрасчет способом полигонов)

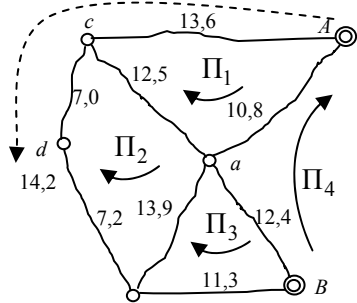


Рис.11. Рабочая схема нивелирной сети для предрасчета способом полигонов

Далее составляют матрицу коэффициентов нормальных уравнений (размер матрицы определяется числом полигонов):

$$N = \begin{pmatrix} + [L]_1 - L_{12} - L_{13} - L_{14} \\ - L_{21} + [L]_2 - L_{23} - L_{24} \\ - L_{31} - L_{32} + [L]_3 - L_{34} \\ - L_{41} - L_{42} - L_{43} + [L]_4 \end{pmatrix},$$

диагональные элементы которой (квадратичные коэффициенты нормальных уравнений) представляют собой периметры соответствующих полигонов, а каждый из остальных элементов – отрицательную длину звена, принадлежащего двум соседним полигонам (знак минус указывает на то, что направления полигонов противоположны). Так, в рассмотренном примере



$$N = \begin{vmatrix} +36,9 & -12,5 & 0 & -10,8 \\ -12,5 & +40,6 & -13,6 & 0 \\ 0 & -13,9 & +37,6 & -12,4 \\ -10,8 & 0 & -12,4 & +23,2 \end{vmatrix}.$$

Затем на рабочей схеме намечают весовой полигон  $F$  (висячий нивелирный ход к оцениваемому реперу  $d$  от ближайшего исходного пункта) и составляют столбец весовой функции:

$$F = |L_{FP1} L_{FP2} L_{FP3} L_{FP4}|,$$

каждый из элементов которой представляет собой длину звена, принадлежащего одновременно и весовому полигону  $F$ , и соответствующему полигону  $\Pi_j (j=1,2,3,4)$ . Элемент столбца  $F$  будет положительным, если направление весового полигона  $F$  совпадает с направлением полигона  $\Pi_j$ , и отрицательным, если эти направления противоположны. В данном случае

$$F = | -13,6 \ -7,0 \ 0 \ 0 |.$$

Далее преобразовывают матрицу  $N$  и столбец  $F$  (табл. 17). Заметим, что этот процесс аналогичен решению нормальных уравнений (так называемая схема Гаусса). Требуемая точность вычислений: элементы элиминационных строк – до 0,01; остальные элементы – до 0,1.

После получения последней элиминационной строки вычисляют обратный вес высоты оцениваемого репера:

$$\frac{1}{P_d} = [L]_F + \Sigma^* F, \quad (19)$$

где  $[L]_F$  - общая длина весового полигона (она всегда положительная);  $\Sigma^* F$  - сумма произведений элементов элиминационных строк на вышестоящие в столбце  $F$  (это значение всегда отрицательное, поскольку элементы элиминационных и вышестоящих строк противоположны по знаку). Сумма произведений  $\Sigma^* F$  вычисляется с точностью до 0,1.

Таблица 17

Преобразование матрицы  $N$  и столбца  $F$ 

$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$F$	$\Sigma$	Контроль
+36,9	-12,5	0	-10,8	-13,6	0,0	-
	+40,6	-13,9	0	-7,0	+7,2	-
		+37,6	-12,4	0	+11,3	-
			+23,2	0	0,0	-
+36,9	-12,5	0	-10,8	-13,6	0,0	-
-1	+0,34	0	+0,29	+0,37	0,00	0,00
	+40,6	-13,9	0	-7,0	+7,2	-
	-4,2	0	-3,7	-4,6	0	-
	+36,4	-13,9	-3,7	-11,6	+7,2	+7,2
	-1	+0,37	+0,10	+0,32	-0,20	-0,20
		+37,6	-12,4	0	+11,3	-
		0	0	0	0	-
		-5,3	-1,4	-4,4	+2,7	-
		+32,3	-13,8	-4,4	+14,0	+14,1
		-1	+0,43	+0,14	-0,43	-0,43
			+23,2	0	0,0	-
			-3,1	-3,9	0,0	-
			-0,4	-1,2	+0,7	-
			-5,9	-1,9	+6,0	-
			+13,8	-7,0	+6,7	+6,8
			-1	+0,51	-0,49	-0,49

В рассмотренном примере  $[L]_F = 20,6$ ;  $\Sigma^* F = -0,37 \cdot 13,6 - 0,32 \cdot 11,6 - 0,14 \cdot 4,4 - 0,51 \cdot 7,0 = -12,9$ ;  $1/P_d = 20,6 - 12,9 = 7,7$ .

Полученный обратный вес представляет собой не что иное, как длину эквивалентного хода до оцениваемого репера  $d$ , поэтому средняя квадратическая погрешность высоты репера  $d$  определяется как

$$M_d = m_{км} \sqrt{\frac{1}{P_d}} \quad (20)$$

или  $M_d = 2\sqrt{7,7} = 5,5$  мм.

## 6.4. РЕКОМЕНДУЕМАЯ МЕТОДИКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

При изложении данного раздела пояснительной записки курсовой работы следует руководствоваться требованиями Инструкции [4], а также ГОСТ 10528-90 «Нивелиры. Общие технические условия» [3].

Особое внимание следует уделить выбору приборов (для каждого класса), поверкам и исследованиям нивелиров и реек, методике наблюдений на нивелирной станции, контролям и допускам.

## 6.5. СВОДКА ОБЪЕМОВ РАБОТ ПО НИВЕЛИРОВАНИЮ

Проект развития нивелирных сетей завершается составлением сводки объемов работ (табл. 18).

Таблица 18

**Сводка объемов работ по нивелированию**

Показатель	II класс	III класс	IV класс	Всего
Число закладываемых пунктов (грунтовых реперов)				
Длина нивелирных ходов				

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авакян В.В. Прикладная геодезия: технологии инженерно-геодезических работ: учеб. пособие / В.В. Авакян М.: Инфра-Инженерия, 2016. 588 с.

2. ГОСТ 7.1- 2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание: общие требования и правила составления. Взамен ГОСТ 7.1–84; введ. 2004–07–01. М.: Из-во стандартов, 2005. 23 с.

3. ГОСТ 10528-90. Нивелиры. Общие технические условия. - Введ. 1991-30-06. М.: ИПК Из-во стандартов, 2003. 14 с.

4. ГКИНП (ГНТА) – 03 – 010 – 03. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М.: ЦНИИГАиК, 2003. 134 с.

5. ГКИНП – 07 – 016 – 91. Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей. Введен 01.01.1992. М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 1993. 104 с.

6. ГКИНП (ОНТА) – 01-271-03. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием

7. Неумывакин Ю.К. Земельно-кадастровые геодезические работы: учеб. для вузов / Ю.К. Неумывакин, М.И. Перский. М.: КолосС, 2006. 463 с.

8. СП 317.1325800.2017. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. Введен 23.06.2018. М.: Стандартиформ, 2018. 117 с.

9. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89. Введен 01.07.2017 г. М.: Стандартиформ, 2017. 111 с.

10. СП 11–104–97. Свод правил. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Основные положения. Введен 01. 01. 1998 г. М.: ПНИИИС. Госстрой России, 1997. 117 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. Общие указания .....	4
1.1. Техническое задание на проектирование .....	4
1.2. Содержание курсовой работы .....	5
2. Физико-географическое описание района работ .....	9
2.1. Административная принадлежность .....	9
2.2. Рельеф .....	10
2.3. Грунты и почвы .....	11
2.4. Климат .....	14
2.5. Гидрография .....	14
2.6. Растительность .....	15
2.7. Населенные пункты .....	15
2.8. Дорожная сеть .....	16
3. Эскиз генерального плана города .....	16
4. Разграфка съемочных планшетов и подсчет площадей съемки.....	18
5. Проект развития планового геодезического обоснования.....	21
5.1. Спутниковая городская геодезическая сеть.....	21
5.1.1. Составление графического проекта каркасной сети и спутниковой городской геодезической сети 1 класса .....	22
5.1.2. Предрасчет точности проектируемой сети .....	25
5.1.3. Закладка центров пунктов спутниковой сети.....	26
5.1.4. Рекомендуемая методика наблюдений на пунктах спутниковой сети .....	28
5.2. Сеть полигонометрии .....	30
5.2.1. Составление графических проектов полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов.....	30
5.2.2. Конструкция центров .....	33
5.2.3. Предрасчет точности проектируемых сетей .....	34
5.2.4. Рекомендуемая методика угловых и линейных измерений в полигонометрии .....	36
5.2.5. Сводка объемов работ по полигонометрии .....	38
6. Проект развития высотного обоснования .....	39
6.1. Графический проект нивелирных сетей II и III классов .....	39
6.2. Конструкция реперов .....	40
6.3. Предрасчет точности проектируемых нивелирных сетей .....	41
6.4. Рекомендуемая методика геометрического нивелирования .....	50
6.5. Сводка объемов работ по нивелированию.....	50
Библиографический список.....	51

**ПРИКЛАДНАЯ ГЕОДЕЗИЯ**

**ПРОЕКТ ПОСТРОЕНИЯ  
ПЛАНОВО-ВЫСОТНОГО ОБОСНОВАНИЯ  
ДЛЯ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ  
ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ**

*Методические указания к курсовой работе  
для студентов бакалавриата направления 21.03.02*

Сост. *В.Г. Потюхляев*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
инженерной геодезии

Ответственный за выпуск *В.Г.Потюхляев*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 26.10.2020. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 3,0. Усл.кр.-отт. 3,0. Уч.-изд.л. 2,8. Тираж 75 экз. Заказ 744.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2