

**Камалова Д.М., Исламова З.К., Хайдарова Н.А.,
Рахимбабаева М.Ш.**

ЗНАЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ В СОВРЕМЕННОМ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ



Ташкент

Значение инженерной геодезии в современном градостроительстве. Монография.
Камалова Д.М., Исламова З.К., Хайдарова Н.А., Рахимбабаева М.Ш. Ташкентский
архитектурно-строительный институт. ТАСИ.

Инженерно-геодезические работы являются чрезвычайно важной и неотъемлемой частью комплекса работ по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации железных, автомобильных дорог и сооружений на них, аэродромов, гидромелиоративных систем, объектов лесного хозяйства и лесного инженерного дела. Эти работы во многом определяют, как стоимость и качество строительства, так и условия последующей эксплуатации инженерных объектов.

На современном этапе развития научно-технического прогресса произошли фундаментальные изменения технологии и методов проектно-изыскательских работ и технологии строительства инженерных объектов, что нашло отражение в изменении состава и методов производства инженерно-геодезических работ, а также в качественном изменении парка используемого геодезического оборудования. Так, в проектно-изыскательских и строительных процессах находят все более широкое применение системы автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированные системы управления строительством (АСУС), геоинформационные системы (ГИС) и т.д.

Очевидно, инженер-строитель, инженер-мелиоратор, инженер лесного хозяйства на современном этапе должны хорошо владеть как традиционными методами геодезии (последние, так или иначе, находят и будут находить применение при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации), так и новыми современными, высокопроизводительными методами инженерно-геодезических работ. В монографии рассмотрены также экономические вопросы проведения геодезических работ.

Исходя из вышесказанного настоящая монография посвящена для широкого круга специалистов, занимающихся проблемами градостроительства, землеустройства, а также для инженерно-геодезического обеспечения проектно-изыскательских работ, строительства и эксплуатации автомобильных дорог, мостов, транспортных тоннелей, аэродромов, гидромелиоративных систем, объектов лесного хозяйства и лесного инженерного дела имеет свои специфические особенности. Кроме того, методы инженерно-геодезических работ в изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации указанных объектов нашли отражение в монографии.

Изложение материала в данной монографии построено таким образом, чтобы максимально облегчить самостоятельную работу студентов, магистрантов при изучении основ инженерной геодезии.

Рецензенты:

Мавлянова Н.Г.-д.г.м.н., профессор, зав.лаборатории Института
Геоэкологии им. Е.М.Сергеева РАН (Москва, Россия).

Узаков А.Р.-д.г.м.н., профессор Института Сейсмологии АН РУз.

*Рекомендовано к изданию решением Учебно-Методического Совета
Ташкентского архитектурно-строительного института от «10» января 2021 г.*

Ташкентский архитектурно-строительный институт

2021 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Инженерно-геодезические работы являются чрезвычайно важной и неотъемлемой частью комплекса работ по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации железных, автомобильных дорог и сооружений на них, аэродромов, гидромелиоративных систем, объектов лесного хозяйства и лесного инженерного дела. Эти работы во многом определяют, как стоимость и качество строительства, так и условия последующей эксплуатации инженерных объектов.

На современном этапе развития научно-технического прогресса произошли фундаментальные изменения технологии и методов проектно-изыскательских работ и технологии строительства инженерных объектов, что нашло отражение в изменении состава и методов производства инженерно-геодезических работ, а также в качественном изменении парка используемого геодезического оборудования. Так, в проектно-изыскательских и строительных процессах находят все более широкое применение системы автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированные системы управления строительством (АСУС), геоинформационные системы (ГИС) и т.д.

Очевидно, инженер-строитель, инженер-мелиоратор, инженер лесного хозяйства на современном этапе должны хорошо владеть как традиционными методами геодезии (последние, так или иначе, находят и будут находить применение при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации), так и новыми современными, высокопроизводительными методами инженерно-геодезических работ.

Инженер должен уметь работать как с традиционными видами инженерно-геодезической информации — топографическими картами и планами, так и с их электронными аналогами — цифровыми картами, являющимися основой ГИС, цифровыми (ЦММ) и математическими (МММ) моделями местности, на базе которых производят системное автоматизированное проектирование инженерных объектов на уровне САПР.

При выполнении изысканий инженерных объектов (железных и автомобильных дорог, лесовозных дорог, каналов, трубопроводов и т.д.) для современного проектирования на уровне САПР исходную инженерно-геодезическую информацию собирают на широкой полосе варьирования конкурентоспособных вариантов, что приводит к резкому увеличению объемов геодезических работ. В связи с этим инженер-строитель на современном этапе научно-технического прогресса должен не только владеть традиционными методами геодезических работ и уметь работать с обычными геодезическими приборами (ориентирование и измерение длин линий мерными лентами, измерение вертикальных и горизонтальных углов теодолитами, измерение превышений между точками местности оптическими нивелирами, выполнение топографических съемок местности и т.д.), но и обязательно владеть различными видами аэрокосмических съемок, методами

наземной цифровой фотограмметрии и электронной тахеометрии, методами наземного и воздушного лазерного сканирования, методами наземно-космической геодезии, а также технологиями автоматизированной обработки результатов полевых измерений. Эти виды инженерно-геодезических работ позволяют максимально сократить трудоемкость и стоимость полевых работ за счет увеличения объема камеральных работ при широком использовании средств автоматизации и вычислительной техники. Для выполнения инженерно-геодезических работ широко применяют аэрофотосъемочное оборудование, фототеодолитные комплекты, электронные и компьютерные тахеометры, различные лазерные приборы, регистрирующие нивелиры, световые и радиодальномеры, системы спутниковой навигации, ЭВМ с соответствующим сопутствующим оборудованием и другие средства автоматизации.

Современное строительное производство невозможно без широкого использования современных геодезических методов разбивки инженерных сооружений на местности, обеспечивающих высокую точность и исключающих грубые просчеты; методов оперативного контроля строительных работ и геодезического управления работой строительных машин и механизмов. Для этих целей при строительстве инженерных объектов широко применяют лазерную технику, приборы систем спутниковой навигации и т.д.

Инженерно-геодезическое обеспечение проектно-изыскательских работ, строительства и эксплуатации автомобильных дорог, мостов, транспортных тоннелей, аэродромов, гидромелиоративных систем, объектов лесного хозяйства и лесного инженерного дела имеет свои специфические особенности. Методы инженерно-геодезических работ в изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации указанных объектов нашли отражение в настоящей монографии.

Изложение материала в данной монографии построено таким образом, чтобы максимально облегчить самостоятельную работу студентов при изучении основ инженерной геодезии.

Монография рассчитана на студентов высших учебных заведений (бакалавров и магистров) очной и заочной форм обучения и может быть полезна работникам строительных организаций. Авторы пытались дать не только объяснение тому, что и как делать, но и ответить на вопрос: «Почему?» Монография включает базовые знания, необходимые любым специалистам, выполняющим геодезические работы. Содержание базируется преимущественно на элементарной математике, некоторые сведения из высшей математики используются в незначительном объеме и только в силу необходимости. Авторы считают своим долгом выразить благодарность за ценные замечания и содействие изданию монографии доценту С.А.Ташпулатову.

ВВЕДЕНИЕ

Ни одно из современных строителей не обходится без геодезических работ. Они предшествуют, сопровождают и завершают процесс строительства [1].

Геодезические работы на строительной площадке относятся к числу первоочередных в общем комплексе изысканий. На основе полученного в результате съемки топографического плана крупного масштаба разрабатывается генеральный план строительной площадки, на котором проектируют здания, сооружения, транспортные пути, инженерные сети и др. Не менее важное значение приобретает топографический план при проектировании строительного генерального плана, на котором намечают весь комплекс вспомогательных и временных зданий и сооружений. Топографический план служит, кроме того, исходным материалом для составления рабочих чертежей вертикальной планировки, архитектурно-строительных чертежей зданий, сооружений и различных инженерных сетей.

Для перенесения проектов зданий и сооружений на местность используют геодезическую основу, созданную на строительной площадке в виде полигонометрической сети или строительной сетки. От пунктов геодезической основы разбивают на местности положение главных осей зданий и сооружений, от которых затем производят детальную разбивку частей зданий.

В ходе строительства делают различные контрольные измерения, которые одновременно с разбивочными работами обеспечивают возведение зданий и сооружений в соответствии с их запроектированными размерами и формами [2].

С применением в промышленном и гражданском строительстве сборных железобетонных конструкций геодезические работы приобретают особое значение. В этих условиях возникает необходимость в повседневной и непрерывной проверке правильности устанавливаемых конструктивных элементов.

По окончании строительства производится геодезическая съемка для изготовления чертежей, на основе которых составляется исполнительный генеральный план завершенного строительного объекта.

С помощью контроля, производимого геодезическими методами, могут быть обнаружены и устранены строительные дефекты. Недооценка геодезических работ на строительной площадке приводит к задержке строительства, переделкам и снижению его качества.

Например, смещение осей в кирпичных зданиях значительно уменьшает площадь опоры балок или настилов на стены или столбы и вызывает перенапряжение кирпичной кладки под опорными плоскостями. Прочность кирпичных столбов, армированных сетками, при смещении оси только на 6 см уменьшается почти в два раза. Поэтому геодезическое обслуживание

строительных работ является неотделимой и наиболее ответственной частью строительного производства.

Научно-технические задачи геодезии распространяются практически на все сферы жизни человеческой деятельности. Чаще всего с изысканиями специалистов приходится сталкиваться в землепользовании, строительстве и проектировании зданий различного назначения, а также при процессе исследования природных ресурсов. Благодаря данным инженерной геодезии составляются планы и карты местности. Они необходимо не только для проведения строительных работ, но и для полного обеспечения потребностей для обороноспособности государства, поскольку топографические карты до сих пор являются важным инструментом при формировании оборонной доктрины. Развитие инженерной геодезии В процессе своего развития геодезия начала формировать дополнительные виды дисциплин. В настоящее время находятся на хорошем этапе развития высшая геодезии, картография, топография, морская и космическая геодезия. Особый уровень науки представляет инженерная геодезия. Инженерная геодезия призвана разрабатывать различные методы геодезического обеспечения проектирования, изыскания и строительства инженерных сооружений различного назначения. Такими сооружениями являются: автомобильные и железные дороги; мосты, тоннели; трубопроводы; сооружения гражданской и промышленной направленности; вспомогательные системы (водоснабжение, водоотведение и т.д.). Задачи инженерной геодезии В состав основных задач инженерной геодезии входит: изыскание в области топографических исследований; инженерное проектирование при помощи геодезии; геодезические разбивочные работы; геодезическая выверка конструкций; наблюдение за деформациями различных сооружений. При топографических геодезических изысканиях выполняется целый комплекс работ и задач. В их число входит проведение топографической съемки при помощи специального оборудования и методов вычислений данных. На площадке объекта происходит создание определенной геодезической сети, а также ряд мероприятий по геодезической привязке точек геологической и геофизической разведки. Все сформированные данные размещаются на картографических материалах и активно используются при проведении изыскательских, проектировочных, строительных и эксплуатационных работ на определенном объекте или местности. В процессе проведения инженерно-геодезического проектирования происходит разработка генеральных планов определенных инженерных сооружений, идет создание их полной цифровой трехмерной модели. В процессе подготовки сборного проекта производится геодезическая подготовка. Специалисты уделяют немалое время для проведения точных расчетов по вертикальной и горизонтальной планировке объекта, идет процесс определения площадей и общих объемов земляных работ, которые необходимо будет произвести на всех этапах строительства. Замечание 1 Геодезические разбивочные работы включают в себя определение геодезической сети на инженерном объекте. По специальному плану

происходит планомерный вынос в натуральную величину осей всего сооружения, производится детальная разбивка объекта на участки. Это необходимо для максимально точного планирования территории будущей стройки. Среди основных задач инженерной геодезии есть геодезическая выверка конструкций, которая применяется в процессе строительства и эксплуатации объекта. Также производится выверка технологического оборудования в то время, когда необходимо произвести установку в проектное положение. Специалисты в ходе своей деятельности стремятся обеспечить максимальную безопасность будущему сооружению, поэтому в задачи геодезистов входит процесс наблюдения за возможными деформациями. Они определяют уровень осадки фундаментов и оснований сооружений, а также заботятся о предупреждении кренов и плановых смещениях сооружений. Инженерные геодезические работы имеют главенствующее значение при обеспечении строительства, планирования и эксплуатации различных инженерных сооружений. Вся деятельность ученых направлена на проведение необходимых точных измерений на объектах [3]. Это позволяет определить координаты и высоты геодезических пунктов, в точности составить топографические карты и планы местности, наблюдать в соответствии с правилами безопасности за деформациями сооружений и строить продольные профили трасс. Все измерения производятся при помощи высокоточного научного оборудования. Геодезические приборы выполняют угловые измерения (теодолиты), линейные измерения (светодальномеры), а также универсальные угловые и линейные измерения. Они возможны при помощи электронных тахеометров. Нивелиры определяют превышения. Если необходимо произвести определение положения объектов, то принято использовать специальную аппаратуру, которая способна принимать сигналы навигационных спутниковых систем. Это необходимо для выполнения работ при топографической съемки определенной местности. В настоящее время специалисты широко используют лазерные установки. С их помощью происходит процесс обработки накопленной информации. Все данные формируют результат при помощи современного программного обеспечения. Программные продукты, используемые при формировании результатов, называют геоинформационными системами [4]. Они служат сбору, обработке, систематизации и анализу всей картографической и информации. Она используется в зависимости от преследуемых целей определенным образом.

Геодезия, как и астрономия - древнейшие науки. Но если об астрономии должен знать каждый школьник, то о геодезии большинство людей даже ничего и не слышало. Между тем, современное развитие человеческой цивилизации немыслимо без использования геодезических знаний.

Так что же собой представляет геодезия? Говоря кратко, - это наука об изучении и измерении земной поверхности, а также всей Земли как планеты в целом.

Чтобы яснее представить, что такое геодезия, надо проследить ее развитие с древнейших времен до настоящего времени, связь с другими науками и, прежде всего, с астрономией [5].

Перефразируя известного поэта, можно сказать, что астрономия и геодезия - близнецы-сестры. Их развитие шло одновременно, взаимно обогащая и дополняя друг друга, и связь эта была настолько тесной, что разделить их порой было невозможно. Ни одна из них не могла развиваться без использования достижений другой.

Целый ряд крупнейших ученых XIX и XX веков, таких например, как Ж.Б.Деламбр, К.Ф.Гаусс, Ф.В.Бессель, А.М.Жданов, Ф.Н.Красовский, А.А.Михайлов, Н.А.Урмаев и многие другие, не говоря уже об универсальных ученых древности и средневековья, а также академиках XVIII века, положивших начала современным наукам, могут быть названы одновременно и выдающимися астрономами и геодезистами.

Астрономия и геодезия издавна исправно служат людям. Еще в древнем Египте, Вавилонии, Индии, Китае наблюдения за некоторыми светилами и, прежде всего, за Солнцем и Луной, позволяли определять времена года, устанавливать сроки проведения сельскохозяйственных работ, предсказывать разливы рек, игравших огромную роль в жизни народов, живших на берегах Нила, Тигра, Евфрата, Ганга, Ян-Цзы.

В то же время определение места наблюдения на Земле требовало проведения геодезических измерений. Последние использовались уже шумерами и египтянами при строительстве различных сооружений и, в частности, пирамид, прокладке оросительных каналов и дорог. Древние мореплаватели и путешественники, а также воины в своих походах умели ориентироваться по Солнцу и по звездам, определять по ним свое местоположение как на суше, так и на море [6].

Слово геодезия происходит от греческих: гео - земля и дайдроз - делить на части, а, говоря проще, оно означает землеразделение, то есть изучение Земли при помощи измерений на ее поверхности.

Отличие геодезии от других наук о Земле, таких как география, геология, геоморфология в том и заключается, что изучение это основано на очень точных измерениях различных параметров и величин, характеризующих Землю как в целом, так и отдельных ее частей.

Геодезические измерения в совокупности с астрономическими наблюдениями дали возможность ученым определить размеры и форму Земли.

Геодезические измерения позволили определить основную астрономическую единицу, служащую для определения расстояний в окружающем нас космическом пространстве. Они позволили также установить единицу измерения длины в метрической системе мер - метр.

Только геодезические измерения позволяют получать точные количественные величины деформации частей земной коры, происходящей как вследствие вековых тектонических вертикальных и

горизонтальных движений материков, так и сдвигов отдельных участков земной поверхности вследствие сейсмической активности и деятельности человека.

Геодезические измерения лежат в основе картографирования страны, т. е. в создании всевозможных карт и планов местности. Они лежат также в основе изучения гравитационного поля Земли, т. е. поля, образованного силой тяжести Земли.

Наступление космической эры, появление искусственных спутников Земли и космических аппаратов, запускаемых к отдаленным планетам, было бы невозможно без знания размеров Земли и ее гравитационного поля.

В изучении фигуры Луны и планет солнечной системы также участвует геодезия.

Велико значение геодезии в военном деле. Без нее невозможно действие артиллерии, ракетных войск, так как расположение орудий и ракет, расстояний до целей и их положение на местности определяется геодезическими методами. Ведение военных операций, первоначально разыгрываемых на топографических картах, являющихся «глазами армии» и создаваемых геодезистами, расположение противоборствующих войск и их расквартирование, также связаны с геодезией [7].

Еще с прошлого века геодезию как науку было принято подразделять на две основные ветви - собственно геодезию или топографию и высшую геодезию. В XX веке к этому подразделению добавилась еще одна бурно развивающаяся ее ветвь - инженерная или прикладная геодезия, получившая большое распространение при решении различных инженерных задач.

Если кратко осветить эти направления, то надо отметить их следующие особенности.

В собственно геодезии, или топографии, изучаются небольшие участки земной поверхности, принимаемые за плоские. При этом исследуются свойства различных геометрических фигур с использованием формул тригонометрии и их приложение к решению различных задач на местности. Разрабатываются также методы проведения топографических съемок, создания планов и карт, конструирования необходимых при этом приборов.

В отличие от собственно геодезии в высшей геодезии изучаются большие участки земной поверхности с учетом ее кривизны и вся Земля в целом. Именно разработанные в высшей геодезии методы позволили решить одну из важных проблем естествознания - определить размеры и форму Земли, детально изучить различные физические факторы, определяющие ее жизнь как планеты (изменение размеров с течением времени, движение полюсов, смещение береговых линий и частей земной поверхности, изменение уровней морей и океанов). Методы создания общегосударственной системы геодезических пунктов, служащих

основой карт и выбора места для строительства различных инженерных сооружений, и способы изображения выпуклой поверхности Земли на плоскости также разрабатываются в высшей геодезии [8].

Развившаяся из описанных геодезических ветвей инженерная или прикладная геодезия превратилась в обширную науку, успешно решающую задачи различных отраслей народного хозяйства.

Так, например, в сельском хозяйстве в основе земного и лесного кадастра* лежат работы, выполняемые инженерной геодезией по определению посевных площадей, границ земельных участков, отводимых под ирригацию и мелиорацию, водных площадей, лесных порубок и других объектов, определяющих научно обоснованную постановку землепользования.

На транспорте при строительстве железных и шоссейных дорог методы инженерной геодезии позволяют осуществить выбор трассы дороги и съемку полосы местности вдоль нее, обеспечивают нужное направление при прокладке туннелей, строительстве мостов и путепроводов.

Прокладка трубопроводов, нефтепроводов и газопроводов также не обходятся без геодезических измерений.

В речном судоходстве на долю геодезии выпадает задача по изучению реки как водного пути, а именно, проведение съемки долины реки и ее русла, определение падения (наклона) дна реки, определение поперечных сечений и рельефа русла реки, определение скорости течения воды в реке на различных глубинах, наблюдение за уровнем воды [9].

Геодезические работы помогают составить предшествующую разведке полезных ископаемых карту районов их вероятного залегания, проводить геологическую и геофизическую разведку по определению мест и количества их запасов, а также осуществлять наземную и подземную съемки, позволяющие правильно и экономично проектировать горные работы.

Велика роль геодезических работ в городском строительстве и строительстве различных инженерных сооружений. В настоящее время развитие городов и населенных пунктов невозможно без подробного топографического плана, на который наносятся все наземные, подземные и надземные сооружения и по которому осуществляется планировка улиц, кварталов, домов. На плане, кроме того, детально показывается рельеф местности.

При строительстве заводов, фабрик, высотных зданий и других инженерных объектов геодезические измерения проводятся с начала и до конца работ по их сооружению, а именно: они предшествуют проектированию, участвуют в изысканиях на местности при выборе площадки под строительство, сопровождают монтажные работы, контролируя правильность их проведения, а по завершении строительства

фиксируют осадки и деформации отдельных частей созданных конструкций.

Большое значение имеют геодезические измерения при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений - плотин, водохранилищ, гидроэлектростанций, судоходных шлюзов, водозаборных и водоспускных сооружений. Измерения по определению осадок гидротехнических сооружений и наблюдение за их техническим состоянием проводятся как в процессе, так и по окончании работ. Таков далеко не полный перечень круга задач, решаемых инженерной геодезией.

Помимо указанных подразделений, современная геодезия включает в себя ряд самостоятельно развивающихся научных направлений:

- радиогеодезию, изучающую электронные методы точного определения расстояний между пунктами на Земле и в пространстве;
- теорию фигуры Земли, разрабатывающую научные основы ее изучения;
- сфероидическую геодезию, являющейся математической основой для решения различных геодезических задач;
- геодезическую астрономию, позволяющую определять положение пунктов на Земле и ориентировать линии по наблюдению небесных светил;
- геодезическую гравиметрию, изучающую гравитационное поле Земли, знание которой необходимо для точного определения координат пунктов на земной поверхности и вне ее, а также для развития геофизических методов разведки полезных ископаемых;
- картографию, разрабатывающую способы изображения поверхности Земли в виде планов и карт;
- космическую геодезию, занимающуюся изучением космоса спутниками Земли и космическими аппаратами, запускаемыми к далеким планетам, и использованием их для определения положения точек на земной поверхности и гравитационного поля.

Подобно этому развитие астрономии как науки также послужило основой для появления самостоятельных наук, таких как астрометрия, небесная механика, астрофизика, космогония, космология, звездная астрономия, теоретическая астрономия, радиоастрономия и ряд других.

Несмотря на то, что указанные выше науки углубились в свои фундаментальные исследования и удалились друг от друга настолько, что потеряли всякую связь между собой, все же астрономия и геодезия в целом тесно взаимодействуют между собой в решении многих научных задач и их приложении в народном хозяйстве страны [10-11].

Таким образом, совместное решение научных проблем астрономией и геодезией позволяет познавать и глубже изучать Вселенную и Землю, на которой мы живем, и способствовать развитию человечества как части Вселенной.

КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ ГЕОДЕЗИИ

Геодезия — одна из древнейших наук на Земле. Строительство выдающихся инженерных сооружений глубокой древности (каналы, дворцы, храмы, пирамиды в Египте, древние города Индии с их удивительно правильной планировкой, оросительные системы в Японии, Великая китайская стена и т.д.) было немыслимо без глубокого знания основ геодезии и без наличия необходимых геодезических приборов.

В России первые геодезические работы, связанные с установлением границ земельных участков, датированы еще XI—XII веками.

Особенно большое развитие геодезические работы в России получили начиная с XVII века в связи с изобретением зрительной трубы с сеткой нитей и разработкой метода триангуляции [12].

Методы инженерной геодезии и картографии находили широкое применение и развивались в период Петровских реформ, а дальнейшее их развитие связано с именем великого русского ученого М.В. Ломоносова, который в период с 1757 по 1763 год возглавлял Географический

В переводе с греческого языка означает «землеразделение».

департамент при Российской академии наук. В 1743 году в Географическом департаменте был создан «Атлас Российской империи».

С XVIII века находят развитие и совершенствование такие специальные виды съемок, как межевые, лесные, гидрографические, а с середины XIX столетия — и путей сообщения.

В 1919 году была создана Государственная картографо-геодезическая служба, впоследствии реорганизованная в Главное управление геодезии и картографии (ГУГК) Министерства геологии и охраны недр страны.

Огромное внимание в этот период было уделено подготовке научных и производственных кадров геодезистов и картографов. Так, в 1928 году в стране был создан Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии (ЦНИИГАиК), а также сеть вузов геодезического профиля, таких как МИГАиК и др.

Сотрудниками ЦНИИГАиК под руководством проф. Ф.Н. Красовского были проведены фундаментальные исследования по определению формы и уточненных размеров Земли, получившие мировое признание и положенные в основу картографо-геодезических работ в республике и ряде других стран. Принята и реализована программа государственной триангуляции [13].

Получило развитие отечественное приборостроение. Российскими конструкторами разработаны конструкции новых современных геодезических приборов, а отечественной промышленностью налажено производство оптических, электронных, лазерных и стереофотограмметрических приборов.

В годы первых послевоенных пятилеток в народном хозяйстве стали находить все более широкое применение методы аэрофотосъемок, а после запуска первых искусственных спутников Земли - и методы спутниковой навигации и дистанционного зондирования.

В настоящее время в связи с появлением систем спутниковой навигации, позволяющих быстро и с высокой точностью определять трехмерные координаты характерных точек местности, в инженерной геодезии произошел кардинальный пересмотр технологии и методов производства инженерно-геодезических работ.

Достижения отечественной геодезии, картографии, аэросъемок, цифровой (электронной), лазерной и космической геодезии позволили разработать и перейти к использованию качественно новых технологий системного автоматизированного проектирования, строительства и эксплуатации инженерных объектов [14].

Геодезия — наука об измерениях Земли и других космических объектов, получении их изображений в графическом и цифровом видах и измерениях этих изображений.

Геодезия — одна из древнейших наук о Земле, которая возникла исходя из практических потребностей человека, связанных с измерениями земной поверхности для строительства различных инженерных сооружений, ведения сельского хозяйства, учета земель, создания карт и планов.

Современная геодезия представляет собой сложную, многогранную дисциплину, опирающуюся на последние достижения таких фундаментальных наук, как математика, физика, астрономия, география. Ее основным назначением является изучение фигуры, размеров и гравитационного поля Земли, составление планов и карт и их электронных аналогов — цифровых моделей местности (ЦММ) и электронных карт (ЭК), решение различных инженерных задач на местности в интересах народного хозяйства и обороны страны.

По назначению геодезию подразделяют на ряд самостоятельных дисциплин: высшую геодезию, топографию, космическую геодезию, морскую геодезию, маркшейдерскую (подземную геодезию), фототопографию и инженерную (прикладную) геодезию.

Высшая геодезия занимается определением фигуры, размеров и внешнего гравитационного поля Земли, а также созданием высокоточных астрономо-геодезических, гравиметрических и нивелирных сетей.

Топография предполагает изучение сравнительно небольших участков земной поверхности с целью получения их изображений в виде карт, планов, ЭК, ЦММ и профилей. Разработкой методов и технологий создания различных карт занимается *картография*, а извлечением информации, содержащейся на картах, — *картометрия*.

Космическая геодезия служит для измерений на Земле и планетах Солнечной системы с использованием данных, получаемых из космического пространства искусственными спутниками Земли, межпланетными кораблями и орбитальными пилотируемыми станциями. Этот вид геодезии находит все большее применение при исследованиях природных ресурсов Земли.

Морская геодезия занимается исследованием природных ресурсов континентальных шельфов и картографированием морского дна.

Фототопография — наука, изучающая методы создания топографических планов, карт, ЦММ и ЭК по материалам фото- или цифровых съемок. Она является частью *фотограмметрии* — науки, определяющей размеры и положение объектов по их фотографическим изображениям. Материалы фото- или цифровых съемок могут быть получены наземным фотографированием местности, с летательных аппаратов — самолетов, вертолетов или с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), а также из космоса с искусственных спутников Земли.

Инженерная геодезия рассматривает широкий круг геодезических работ, выполняемых при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений и монтаже технологического оборудования. Она использует методы высшей геодезии, топографии, фотограмметрии и материалы всех видов съемок, в том числе и космических.

По способам производства работ различают наземную геодезию, аэрогеодезию, космическую геодезию (дистанционное зондирование), подземную геодезию (маркшейдерия) и подводную геодезию [15-16].

Наземная геодезия объединяет широкий круг методов производства наземных геодезических измерений: ориентирование, вешение и измерение длин линий, геометрическое нивелирование, тахеометрические съемки, фототеодолитные съемки, наземное лазерное сканирование, наземно-космические съемки и т.д. При производстве наземных геодезических работ используют как обычные, традиционные геодезические приборы (земляные ленты и рулетки, оптические нивелиры и теодолиты), так и современное электронное оборудование (свето- и радиодальномеры, электронные и компьютерные тахеометры, лазерные геодезические приборы, фототеодолитные комплексы, наземные лазерные сканеры, приборы спутниковой навигации и т.д.). Использование современных геодезических приборов позволяет изменить технологию производства полевых геодезических измерений, резко повысить производительность работ при одновременном существенном повышении качества получаемых результатов.

Аэрогеодезия нашла широкое применение в практике производства инженерных геодезических работ в последние несколько десятилетий. Применение современного аэрофотосъемочного и стереофотограмметрического оборудования, а также систем цифровой фотограмметрии (ЦФС) заметно расширило сферу применения методов геодезии и позволило резко сократить объемы и сроки производства полевых работ с соответствующим увеличением камеральных при широком использовании средств автоматизации и вычислительной техники. С развитием цифровой фотографии, а также средств автоматизации и компьютерной техники возможности аэрогеодезии еще более возросли. Аэрогеодезия в связи с переходом на технологии и методы системного автоматизированного проектирования стала одним из основных видов инженерно-геодезических работ при изысканиях, прежде всего, линейных объектов строительства [17].

Космическая геодезия обеспечивает получение информации о местности из космоса с искусственных спутников Земли. Современные длиннофокусные аэрофотокамеры (АФА) обладают столь высокой разрешающей способностью, что обеспечивают получение надежной геодезической информации при высотах фотографирования в несколько сотен километров. Космические съемки оказываются весьма эффективными при картографировании местности, а также при изысканиях инженерных объектов на ранних стадиях проектирования, например, при обосновании инвестиций (ОИ) в объекты строительства.

Подземная геодезия (маркшейдерия) как специфическая дисциплина получила свое развитие в связи со строительством транспортных и гидротехнических тоннелей. При производстве подземных геодезических работ используют специальные технологии и парк маркшейдерских приборов с широким применением лазерной техники [18].

Подводная геодезия обеспечивает получение информации о рельефе дна морей, континентальных шельфов, озер, водоемов и рек. В подводной геодезии находят широкое применение методы ультразвукового эхолотирования. В транспортном и гидротехническом строительстве методы подводной геодезии используют при изысканиях мостовых переходов и других гидротехнических сооружений.

Геодезические работы выполняют с установленной в задании и с требуемой действующими нормативными документами точностью. Измерения с более высокой, чем это необходимо, точностью требуют применения высокоточных приборов, больших средств и времени, а измерения с недостаточной точностью считают браком.

При выполнении геодезических работ следят за сохранением окружающей среды, не допускают излишней рубки леса, не допускают повреждения сельскохозяйственных угодий, загрязнения водоемов. Все геодезические работы производят с обязательным соблюдением правил техники безопасности.

ЗНАЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Инженерная геодезия рассматривает методы измерений, процессы и решения, осуществляемые при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений [19].

Инженерная геодезия имеет исключительное прикладное значение в различных отраслях народного хозяйства. Методы инженерной геодезии широко используют при проектировании, строительстве и эксплуатации дорог, мостов, транспортных тоннелей, аэродромов, каналов, зданий и сооружений автотранспортной и аэродромной службы, гидромелиоративных сооружений, подземных коммуникаций, воздушных сетей.

Топографические, инженерно-геологические, инженерно-гидрологические и экономические изыскания для проектирования, вынос проектов в натуру и процесс геодезического контроля в ходе строительства и, наконец, определение деформаций и сдвигов сооружений в процессе их эксплуатации осуществляют с использованием технологий и методов инженерной геодезии.

Геодезические работы ведут в городах и населенных пунктах при их планировке, озеленении и благоустройстве. Организация и землеустройство сельскохозяйственных предприятий, осушение и орошение земель, работы по ведению лесного хозяйства также немыслимы без инженерной геодезии.

Велика роль геодезии и в вопросах обеспечения обороноспособности страны. Геоинформационные системы (ГИС), системы спутниковой навигации чрезвычайно эффективны при ведении военного строительства, для целей военной разведки и для управления военной, и прежде всего ракетной, техникой при нанесении точных ракетно-бомбовых ударов.

Геодезия как наука занимается изучением формы и размеров Земли в целом и отдельных ее частей. Вместе с тем, геодезия, как обобщающее понятие, включает в себя большое число связанных с ней дисциплин. Таких, например, как инженерная геодезия, топография, картография, аэрофотосъемка, стереофотограмметрия, высшая геодезия, теоретическая геодезия, маркшейдерия и др.

В данной монографии публикуются материалы освещающие такие вопросы геодезии, как топографические работы, нивелирные работы, геодезические разбивочные работы, составление топографических планов местности, работа с топографическими картами и планами.

Изучением общей формы и размеров Земли, а также ее отдельных частей, для которых необходимо учитывать кривизну Земли, исследованиями ее внешнего гравитационного поля занимается **высшая геодезия, теоретическая геодезия**. Кроме этого, к высшей геодезии относятся также следующие вопросы: построение Государственных геодезических сетей (ГГС); определение координат точек земной поверхности в единой системе координат; те же самые вопросы определения координат с помощью спутниковых навигационных систем; изучение вертикальных и горизонтальных движений земной коры; изучение фигур планет Солнечной системы, а также их гравитационных полей и др.

Исследование малых участков, элементов физической поверхности и расположенных на ней объектов естественного и искусственного происхождения, способов отображения этой поверхности на плоскости, относится к **топографии. Инженерная (прикладная) геодезия**, как часть топографии, изучает методы специальных геодезических работ, выполняемых при изыскании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений. **Аэрофотосъемка и фотограмметрия** в сочетании с **аэрофототопографией, фототопографией и цифровой фотограмметрией** позволяют разрабатывать методы создания

топографических карт и планов по фотографическим и цифровым изображениям, полученным с летательных аппаратов или в результате **наземной фототеодолитной съемки**.

Геодезия использует результаты измерений, полученных при **гравиметрической съемке**, пользуется исследованиями **космической геодезии, астрономии, небесной механики**. Расчетный аппарат геодезии базируется на знании высшей математики и математической статистики. Большая связь геодезии с геодезическим приборостроением, в основном и определяющем, чаще всего, точность измерений.

Почему геодезия обязательна при строительстве дома

Большинство из нас с таким термином, как «геодезия» сталкиваются лишь тогда, когда возникает необходимость проведения подобных работ на участке перед строительством. Но как бы там ни было, роль геодезии в строительстве современных домов является колоссальной, и пренебрегать данными работами ни в коем случае нельзя. Ниже мы рассмотрим основные нюансы этих работ и оценим необходимость их проведения [20-22].

Что представляют собой геодезические работы

Каждому из нас известно, что поверхность нашей планеты не имеет от природы идеальных горизонтальных или наклонных поверхностей. По этой причине именно геодезия в строительстве дома играет очень важную роль. Данная процедура позволяет определить соответствие участка параметрам планируемого к строительству здания. Поэтому основная суть данных действий сводится к тому, чтобы контролировать правильное расположение объекта в процессе проведения строительных работ [23].

Чтобы лучше понять то, зачем нужна геодезия при строительстве дома, рассмотрим виды проводимых работ:

1. **Кадастровая геодезическая съемка.** Обычно проводится при покупке участка и предполагает определение физических границ территории. Эта процедура позволяет покупателю оценить размеры участка и понять, подходит ли он для строительства запланированного дома.

2. **Топографическая съемка.** Предполагает измерение угла наклона участка, определение местоположения строений, дорог, оград и т. д.

3. **Геодезическая съемка.** Позволяет создавать чертежи, которые выступают в качестве правовых документов и применяются для того, чтобы получить соответствующее разрешение на возведение магистрали, дороги, дома и т. д.

4. **Инженерная геодезия, которую также называют геодезией под дом.** Предполагает разметку на карте высот. Данный вид чертежей применяется для того, чтобы составить индивидуальные проекты домов.

Также инженерная **геодезия в строительстве дома** позволяет подогнать под имеющийся участок типовые проекты.

Это были все виды геодезических работ, которые проводятся на данный момент соответствующими организациями. **При строительстве коттеджей, как правило, выделяют два вида подобных работ:**

- исполнительная съемка;
- топографическая съемка.

О них следует поговорить более подробно.

Нюансы проведения топографической съемки

Топографическая геодезия в строительстве дома проводится при подготовке к строительству. Для этого специалистами разрабатывается точная карта участка, которая отражает все наклоны почвы, наличие неровностей, размеры, границы и расположение всех объектов, которые имеют значение при проведении строительных работ. Это могут быть дороги, ограды, здания и т. д. Чаще всего выполнение топографического плана осуществляется в масштабе 1 к 500.

Если речь идет о готовом проекте дома, то от его особенностей во многом зависят задачи, поставленные для проведения исследований в ходе топографической съемки. В свою очередь, на основании проведенной топографической съемки, специалист может внести какие-либо изменения в уже готовый проект здания. Речь идет о привязке дома к имеющемуся участку, для чего на генплан наносится расположение здания и определяется нулевая отметка проекта. Таким образом специалист может задать высоту полов в доме в соответствии с поверхностью грунтов. Эти данные обязательно отражаются в проекте.

Особенности проведения исполнительной съемки

После топографии следует новый этап, требующий присутствия геодезиста. Речь идет о земляных работах. Здесь от специалиста требуется так называемый вынос объекта в натуру, когда на участке происходит разбивка осей дома в зависимости от его привязки к участку.

На данном этапе основные задачи геодезии в строительстве дома заключаются в определении глубины заливки фундаментной плиты и создании нулевой отметки дома. После этого задачей геодезиста является контроль таких нюансов, как устройство перекрытий, а также вертикально и горизонтально ориентированных несущих элементов здания. При этом проводится оценка их расположения в соответствии с допустимыми нормами.

Зачем нужно проведение геодезических работ на участке

Выше уже говорилось о том, что **роль геодезии в строительстве** колоссальна. Пришло время более конкретно осветить те нюансы, от которых напрямую зависит качество будущего дома и которые определяются именно специалистом-геодезистом [24].

В первую очередь, такие работы позволяют определить лучшее расположение здания относительно рельефа конкретного участка. Многие владельцы земельных участков наивно полагают, что определить место, оптимально подходящее для возведения дома, не так уж и сложно. В действительности же это не так. **Здание не только должно быть удобно расположено на участке, но и соответствовать следующим требованиям:**

1. Расположение дома должно быть максимально близким к линиям коммуникации.

2. Очень важным является правильное расположение здания относительно сторон света.

3. Соответствовать рельефу и типу грунтов местности. Учитывая рельеф участка, в готовый проект могут быть внесены существенные изменения. Это, пожалуй, основная задача современной топографии.

4. При строительстве необходимо учесть также и расстояние до соседних домов.

Поэтому для правильного определения местоположения жилого дома на участке, необходимо произвести адаптацию проекта к данным, полученным при проведении топографической съемки.

Также геодезия позволяет определить, необходимо ли проведение серьезных земляных работ на территории. И если такая необходимость все же существует, то таким образом можно определить масштабность разработки участка. Помимо этого, в некоторых случаях требуется обустройство грамотной дренажной системы.

В природе очень редко попадаются участки, отличающиеся идеальной ровностью. Чаще всего даже идеальный внешне рельеф обладает небольшим уклоном. И потому присутствует необходимость расположения дома таким образом, чтобы вода, присутствующая в почве, не подмачивала фундамент. В особенности это важно в тех случаях, когда участок располагается на низине, куда стекает вода с более высоких точек рельефа [25].

В таких случаях дом можно слегка приподнять и обустроить грамотный дренаж. И проведение таких мероприятий является невозможным без грамотной топографической съемки. Мало того, именно топосъемка позволяет рассчитать объем, а соответственно и стоимость работ, проводимых на участке.

Также данная процедура необходимо при создании ландшафтного дизайна. Сегодня ни один серьезный ландшафтный дизайнер не будет работать с участком при отсутствии топографической съемки. И речь идет не только о тех участках, которые расположены на склонах. Точный план

местности является необходимым при планировании установки таких сооружений, как беседки, бани и т. д., а также всевозможных насаждений.

Геодезия является гарантией надежности возводимого здания. Без предварительного проведения подобных работ ни один опытный строитель не начнет заливку фундамента. Для обеспечения правильных пропорций дома необходимо определение нулевой отметки, вынос осей в натуру и т. д., что входит в задачи геодезии в строительстве дома. При правильном проведении геодезических работ возникает уверенность в том, что здание будет стоять в течение десятилетий, ведь в таком случае исключены трещины в фундаменте, способные привести к преждевременному его разрушению [26].

Нередко именно специалист-геодезист открывает владельцу участка недостатки участка. Учитывая их, в план здания вносятся соответствующие коррективы, которые и предотвращают его преждевременное обрушивание. Одним из наиболее частых неприятных сюрпризов является залегание государственных коммуникаций непосредственно под земельным участком. А ведь в конечном счете они способны помешать строительству. Как правило, если такие неучтенные коммуникации будут обнаружены на этапе рытья котлована под фундамент, то это может существенно повлиять на стоимость проведения строительных работ. Причем, далеко не в лучшую сторону.

Геодезия в строительстве – это совокупность мероприятий, включающих в себя точные измерения объекта исследования, построение на основании этих измерений чертежей и вынос их в натуру.

Эти мероприятия создают все условия для точного и запланированного размещения строений и зданий, включая все их внутренние и внешние элементы, в соответствии с заданным проектом и существующей нормативной базой.

В случае если строительство предполагает возведение сложных инженерных конструкций, больших промышленных объектов, то геодезические работы должны выполняться с помощью специально приглашенной геодезической организации.

Геодезическое сопровождение требуется на всех этапах строительства объекта.

В задачи геодезической организации входят:

1. Выбор строительной площадки:
 - сбор материалов на земельном участке и их последующий анализ
2. Работы при подготовке к строительству. Они состоят из:
 - расчета инженерных конструкций, составления плана размещения коммуникаций, находящихся как под землей, так и наземных;
 - натурного выноса основных осей строительства.
3. Строительное проектирование:
 - топографические и геодезические мероприятия для производства геоподосновы для строительных работ;

- геодезическое сопровождение остальных инженерных работ, возможная корректировка данных с дополнительными параметрами для строительного проектирования.

4. Контроль на этапе создания различных конструкций:

- надзор над соблюдением точных геометрических параметров строительных элементов;
- контроль соблюдения нужного количества этих элементов, так называемый статистический контроль.

5. Работы в период постройки объекта:

- исполнительная съемка и оформление исполнительной документации для уже возведенных строений;
- геометрическое соблюдение строительно-монтажных работ непосредственно в момент возведения;
- оформление исполнительных геодезических документов к сдаче объекта.

6. Работы уже после окончания строительства - это производство генерального плана, а также подготовка специальных исполнительных документов.

Геодезия в строительстве требует знаний, современной техники и точности в соблюдении замеров и сроков. От качества геодезических работ зависит весь успех строительства, и лучше доверить эти работы профессионалам.



Геодезические работы проводятся практически на всех стадиях жизненного цикла объектов капитального строительства: предпроектной — инженерно-геодезические изыскания площадок строительства и трасс инженерных коммуникаций; проектной — определение планового и высотного проектных положений объектов строительства и подготовка

данных для выноса проектов в натуру; на стадии непосредственного возведения объектов — вынос проектов в натуру и контроль соответствия фактических геометрических параметров возводимых объектов их проектным значениям; на стадии эксплуатации объектов — контроль и наблюдения за плановым и высотным положениями объектов и их деформациями.

Вместе с тем на протяжении длительного времени наблюдается устойчивая тенденция к возрастанию сложности возводимых сооружений и возрастанию требований к точности соблюдения их геометрических параметров, что влечет за собой как повышение требований к точности геодезических измерений в процессе строительства объектов, так и применение наиболее эффективных методов и технологий геодезических работ [27].

Область геодезических знаний, необходимых для специалистов строительных специальностей, включает традиционные геодезические измерения и работы, применяемые во многих сферах человеческой деятельности, и специфические методы и работы, выполнение которых необходимо только при проектировании и строительстве зданий и сооружений различного назначения, поэтому данный учебник включает описание традиционных геодезических работ и описание тех вопросов и тем, которые относят к так называемой «инженерной геодезии».

Настоящая монография разработана в соответствии с требованиями к специалистам-строителям, которые должны:

знать конструкцию геодезических приборов, их поверки и способы подготовки к работе, требования нормативных документов к точности геодезических измерений и точности геометрических параметров строительных конструкций;

уметь выполнять основные геодезические измерения и обработку их результатов, готовить разбивочные чертежи, выполнять исполнительные съемки и подготавливать отчетные документы о выполненных работах;

владеть специальной терминологией, методами контроля результатов геодезических измерений и вычислений, методами рациональной организации и выполнения геодезических работ при инженерно-геодезических изысканиях, выносе проектов в натуру, возведении объектов капитального строительства.

Геодезия — наука, изучающая форму и размеры всей Земли в целом или отдельных ее частей посредством геодезических измерений. (Измерение есть процедура непосредственного либо опосредованного (косвенного, непрямого) сопоставления некоторой физической величины с другой подобной величиной, принятой за единицу меры.) Измеряемыми величинами в процессе геодезических работ являются углы и длины линий на земной поверхности или

в околоземном пространстве, высоты точек или их разности, значения силы тяжести, широты и долготы точек и т.д.

В геодезии в широком смысле традиционно выделяют высшую геодезию, геодезию (топографию), инженерную геодезию, аэрофотогеодезию, картографию. В середине XX в. в рамках геодезии возникли новые направления: радиогодезия, космическая геодезия, дистанционное зондирование, геоинформатика.

Содержание научной специальности «геодезия» в паспорте научных специальностей Высшей аттестационной комиссии (ВАК) характеризуется как определение формы и размеров Земли как планеты, частей ее поверхности, а также установление закономерностей их пространственно-временных изменений [28].

В высшей геодезии выделяют научные и научно-технические проблемы [29]. *Основной научной проблемой* высшей геодезии является изучение формы и размеров Земли в целом и ее внешнего гравитационного поля. По этой причине геодезию относят к наукам о Земле. Определение формы и размеров Земли при этом заключается в нахождении математической поверхности, представляющей ее наилучшим образом. Другая основная задача высшей геодезии состоит в изучении ее гравитационного поля и действительной фигуры как отступлений от принятой математической поверхности. *Научно-технические проблемы* заключаются в разработке наиболее эффективных методов и средств измерений на земной поверхности, в связи с чем геодезию относят к техническим наукам.

Результаты, получаемые в высшей геодезии, служат основой для геодезии (в узком смысле слова). *Задачей геодезии*, которую в данной книге для определенности будем называть элементарной геодезией, является изучение отдельных частей реальной (физической) поверхности Земли.

Для геодезии наиболее существенна связь с математикой, физикой, электроникой, гравиметрией, астрономией, небесной механикой. Теоретической основой *высшей геодезии* служат прежде всего такие ветви математики, как геометрия, дифференциальная геометрия, дифференциальное и интегральное исчисление, теория потенциала, теория вероятностей и математическая статистика. Элементарная геодезия базируется на элементарной математике — геометрии, тригонометрии, алгебре. При решении почти всех задач элементарной геодезии земная поверхность считается плоскостью [30].



В развитие геодезической науки значительный вклад внесли выдающиеся математики Пифагор (ок. 570—490 до н.э.), Эратосфен (ок. 276—194 до н.э.), И. Ньютон (1643—1727), А.Л. Клеро (1713-1765), П.С. Лаплас (1749-1827), А.М. Лежандр (1752-1833), К.Ф. Гаусс (1777-1855), Ф.В. Бессель (1784-1846) и др.

В свою очередь потребности геодезии послужили стимулом для развития других наук. Из потребностей геодезии возникли понятия эллиптического интеграла и геодезической линии. Наконец, К.Ф. Гауссом для решения некоторых задач геодезии и астрономии был разработан метод наименьших квадратов, который в настоящее время применяется во многих областях при обработке численных результатов экспериментов [31].

Для геодезии в целом можно отметить ее информационный характер. Задачей геодезических и картографических работ являются получение сведений о земной поверхности и представление полученной информации в соответствующем виде. Наиболее наглядно данное суждение подтверждается выполнением топографических съемок и представлением реальной земной поверхности в виде топографических карт и в последнее время — геоинформационных моделей.

Первые съемки земной поверхности выполнялись наземными способами (так называемый *топометрический метод* получения информации), позднее (с 1930-х гг.) стала применяться аэрофотосъемка (*фотограмметрический метод*), со второй половины XX в. все большее применение

находит дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), в том числе космические съемки. В настоящее время съемки земной поверхности из космоса выполняются с разрешением 0,5—0,3 м.

Поскольку геодезия возникла в глубокой древности, точно установить время ее появления не представляется возможным. Первые документально подтвержденные геодезические работы относятся к VII в. до н.э. Так, при археологических раскопках на территории Вавилона и Ассирии были обнаружены глиняные таблички с планами земельных участков, датируемые VII в. до н.э. Выполнение указанных геодезических работ было связано с ежегодными разливами рек (Тигра и Евфрата).

Как уже отмечалось, существует связь геодезии с геометрией. Более того, и возникновение геометрии, что дословно переводится как «землемерие», было связано с необходимостью измерений и решения задач на земной поверхности. В математическом энциклопедическом словаре геометрия трактуется как «часть математики, изучающая пространственные отношения и формы, а также другие отношения и формы, сходные с пространственными по своей структуре» [32]. Там же приводится ссылка на Евдема Родосского (IV в. до н.э.), объяснявшего возникновение геометрии следующим образом: «Геометрия была открыта египтянами и возникла при измерении Земли. Это измерение было им необходимо вследствие разлива р. Нила, постоянно смывавшего границы» [33]. Еще одной причиной развития геометрии явилась необходимость определения площадей и объемов в процессе земляных и строительных работ.

Но уже древние греки осознали универсальный характер пространственных форм и отношений, значимость для других областей человеческой деятельности, сделав их изучение предметом особой части математики, за которой оставили прежнее название «геометрия». Поэтому позднее выдающийся энциклопедист Древней Греции Аристотель (384—322 до н.э.), создавая классификацию наук того времени, был вынужден для обозначения собственно землемерия ввести термин «геодезия», т.е. *землеразделение*.

Поскольку самое раннее (но, вероятнее всего, не самое первое) сочинение, содержащее сведения из геометрии, датируется примерно XVII в. до н.э., постольку можно считать, что геометрия и геодезия возникли еще раньше. Таким образом, геодезия — одна из древнейших наук, что вполне объяснимо, если учесть важность изучения географического пространства — среды, в которой обитает человек [34].

Если сравнивать содержание геометрии и геодезии, говорить об их сходстве и различии, то можно сказать, что в первой рассматриваются исключительно задачи не прямых измерений на какой-либо поверхности или в пространстве, тогда как основное содержание второй составляют проблемы прямых измерений на земной поверхности.

Однако возникновение геодезии объясняется не только перечисленными ранее чисто утилитарными потребностями человечества. Его в не меньшей

мере интересовали вопросы мироздания, устройства реального физического мира. Первым шагом в этом направлении явилась высказанная в VI в. до н.э. древнегреческим математиком Пифагором гипотеза о шарообразности Земли. В III в. до н.э. другой древнегреческий математик Эратосфен первым определил радиус земного шара (рис. 1). Подобные определения радиуса Земли позднее получили название *градусных измерений*. Затем достижения древнегреческих ученых под давлением католической церкви были забыты на многие сотни лет. И лишь в начале IX в. повторные определения размеров Земли выполнил багдадский халиф Мамун.

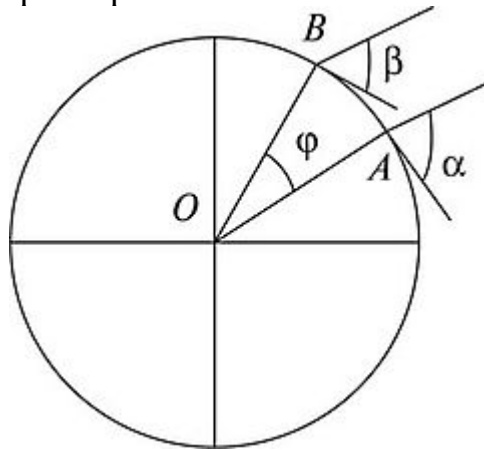


Рис. 1. Градусное измерение

Суть выполненных Эратосфеном градусных измерений состоит в следующем. В двух точках *A* и *B* земной поверхности, находящихся на одном меридиане, в один и тот же момент времени измеряются углы α и β между линией горизонта и направлением на Солнце. Так как расстояние до Солнца (150 млн км) очень велико по сравнению с расстоянием между точками *A* и *B*, то направления на Солнце можно считать параллельными линиями. Тогда угол ϕ между радиусами *OA* и *OB* будет равен разности углов

$$\Phi = \alpha - \beta,$$

поскольку угол между радиусами равен углу между касательными.

Если теперь измерить длину дуги s между точками *A* и *B*, то можно найти радиус r земного шара из соотношения

$$s = r\phi,$$

где ϕ — значение угла в радианах.

В XVI в. шарообразность Земли была установлена *эмпирически* в результате кругосветного плавания Магеллана. До плавания Магеллана знания о шарообразности Земли были теоретическими и как таковые нуждались в доказательстве. После Магеллана такие доказательства уже не требовались:

любой желающий мог повторить указанный эмпирический опыт и убедиться в правильности гипотезы Пифагора. (Плавания Колумба и Магеллана стали возможны только благодаря сохранившимся гипотезам о шарообразности Земли.) Однако открытие Магеллана поставило новый вопрос: «Если Земля круглая, то что удерживает тела на ее поверхности?» Ответом на них явился ньютоновский закон всемирного тяготения. Таким образом, теоретическое открытие и эмпирическое подтверждение шарообразности Земли послужили стимулом для новых научных исследований и открытий [35].

В дальнейшем Ньютон не только первым высказал гипотезу о сжатии Земли с полюсов (эллипсоидальность Земли), что следовало из открытого им закона всемирного тяготения, но и теоретически вычислил величину такого сжатия.

Таким образом, достижения геодезии определенным образом влияли на развитие других областей человеческого знания. В свою очередь достижения и результаты других наук и изобретения находили применение в геодезии.

Вероятно, самым первым изобретением, нашедшим применение в геодезии, стало изобретение *компаса* в Древнем Китае. С его появлением возникла возможность ориентироваться на земной поверхности по отношению к сторонам света, определяя направления относительно магнитного меридиана.

В начале XVII в. была изобретена *зрительная труба*, нашедшая в геодезии самое широкое применение и позволившая существенно увеличить точность измерения угловых величин. Кроме того, в начале того же века (1615—1617) голландец Снеллиус предложил создавать геодезические сети в виде *триангуляции* — сплошной сети треугольников, в которой измеряются все углы каждого треугольника и одна или несколько сторон (*базисов*) во всей сети. Изобретение триангуляции позволило относительно быстро создавать на большие территории геодезические сети — плановую основу для выполнения всех последующих геодезических работ и топографических съемок в единой системе координат [36].

После создания достаточно точных механических часов — *хронометров* — стало возможным определение долгот точек земной поверхности, до этого указанная задача считалась неразрешимой. Позднее в таких целях использовалось *радио*, с помощью которого передавались сигналы точного времени. Изобретение *барометра* позволило определять высоты точек земной поверхности методом так называемого *барометрического нивелирования*. Изобретение *гравиметра* дало возможность измерять значения силы тяжести на земной поверхности и уточнять фигуру Земли в целом и явилось причиной образования в геодезии новой ее ветви, получившей название *физической геодезии*. Изобретение *гироскопа* предоставило возможность определения истинных азимутов как на земной поверхности, так и под ней, что имеет важное значение при выполнении подземных работ (добыча полезных ископаемых подземным способом, строительство тоннелей, линий метро и т.п.).

Изобретение *фотоаппарата* и появление авиации послужило основой такой новой ветви в геодезии, как аэрофото геодезия, задача которой — методы создания топографических карт и планов по аэроснимкам земной поверхности. С появлением возможности получения космических снимков земной поверхности в различных диапазонах возникло дистанционное зондирование Земли [37].

В XX в. разработка и внедрение в геодезическое производство *радио- и светодальномеров* увеличили производительность труда при измерении расстояний в десятки и сотни раз. Наконец, на базе космической техники, радиогеодезии и вычислительной техники в конце 1900-х гг. созданы спутниковые системы автономного определения координат, называемые также *глобальными навигационными спутниковыми системами* (ГНСС) и позволяющие быстро и с высокой точностью определять положение любой точки земной поверхности в единой системе координат и высот.

В России первая карта Московского государства (Большой чертеж) была создана в 1598 г. Значительное содействие развитию геодезии и картографии в России оказал такой реформатор, как Петр I. В 1739 г. при Академии наук был образован Географический департамент во главе с М.В. Ломоносовым, и уже в 1745 г. выпущен первый географический «Атлас Российский». 1822 г. отмечен созданием Корпуса военных топографов (КВТ), задачей которого являлось выполнение топографических съемок на территории России. В 1916 г. академик В.И. Вернадский предложил образовать институт, который занимался бы планомерным изучением территории России. В 1919 г. (15 марта) председателем Совнаркома В.И. Лениным был подписан декрет о создании Высшего геодезического управления (ВГУ), позднее переименованного в Главное управление геодезии и картографии (ГУГК) при Совете Министров республики. Указанная дата в республике являлась профессиональным праздником геодезистов и картографов. В настоящее время в России день работников геодезии и картографии отмечается в третье воскресенье марта [38].

К 1992 г. было закончено картографирование всей территории страны в масштабе 1:25 000. Общее число номенклатурных листов топографических карт масштаба 1:25 000 составило около 240 000. (Толщина бумажного листа — около 0,1 мм. Если листы этих карт сложить стопкой, ее высота была бы около 24 м.) Тогда же было закончено картографирование Антарктиды в масштабе 1:100 000. Крупномасштабные съемки в городах в стране выполнялись преимущественно трестами инженерно-строительных изысканий. В настоящее время основные геодезические и топографические работы на территории страны выполняются госкартографией, ее аэрогеодезическими предприятиями.

ОСОБЕННОСТИ И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА.

Специфические особенности производства Геодезические работы производятся в основном на открытой физической поверхности Земли. Поэтому экономическое управление работами: планирование, нормирование, организация и учет - имеют ряд особенностей. К ним относятся: наличие полевых и камеральных работ; влияние физико-географических и экономических условий района работ; необходимость проведения организационно-ликвидационных мероприятий; творческий характер труда; геодезическая изученность [39]. Наличие полевых и камеральных работ. Технология геодезического производства определяет необходимость проведения натурных измерений на открытых участках земной поверхности при изготовлении геодезической продукции в оптимальном режиме и соотношениях выполнения работ непосредственно на участках земной поверхности в поле. Однако, обеспечение качества (полноты содержания, достоверности, точности и учета потребительских требований) при оптимальном расходовании всегда ограниченных и дорогостоящих производственных ресурсов возможно только при выполнении работ в благоприятное время года. Это время называется полевым периодом (или полевым сезоном). Полевой период определяется календарным временем между весенней и осенней распутицей, и для различных физико-географических регионов Узбекистана различен. Для удобства пользования длительность полевых периодов в соответствующей нормативной литературе измеряется в месяцах и приводится по территориям субъектов Республики Узбекистан. Выполнение полевых работ, в основном, возможно только в светлое время суток, а некоторых из них, например, астрономических определений, светодальномерных измерений, наоборот, - только в ночное время, поэтому производство регламентировано односменным режимом работы. Короткие по продолжительности полевые периоды обуславливают почти одновременный выезд полевых бригад на объект по разным взаимосвязанным технологическим процессам, что, в свою очередь, требует для организации бесперебойной ритмичной работы бригад формирования соответствующих заделов. Под заделом понимается некоторый объем технологического передела, выполненный на i -й (предыдущей) стадии обработки, необходимый и достаточный для ритмичной загрузки рабочих мест на $(i+1)$ -й (последующей) стадии. Например, процесс нивелирования может выполняться бригадами только тогда, когда на проектируемой трассе нивелирного хода в достаточном количестве уже заложены нивелирные знаки, то есть, выполнен предыдущий процесс, обеспечивающий ритмичную работу бригад нивелировщиков. Обработка полевых материалов ведется в подразделениях камерального производства, для которых также требуются заделы по полевым работам. Сезонный характер работ обуславливает: необходимость загрузки инженерно-технических работников (ИТР) полевого

производства в межполевой период камеральными работами; применение труда временных рабочих; неравномерное использование производственных мощностей и финансовых ресурсов предприятий в течение года; неритмичный выпуск продукции, а следовательно, привлечение авансов заказчиков и кредитов банков, а также создание в организации резервного фонда оборотных средств; изменение рабочих мест. Полевые работы выполняются, как правило, экспедиционно [40].

На объектах со значительными объемами, расположенных на значительном удалении от стационарных производственных баз подразделений, приходится организовывать временные полевые базы, для чего арендуются или строятся временные сооружения производственного и жилищно-бытового назначения. Камеральные работы. Технологические процессы по обработке материалов полевого производства: вычисления координат, фотолабораторные работы, стереорисовка, фотограмметрическая обработка снимков, подготовка карт к изданию, картоиздательские работы, создание цифровых моделей по картографическим и фотограмметрическим материалам осуществляются в камеральных условиях, т.е. в производственных помещениях стационарных баз подразделений. При достаточных заделах по полемому производству камеральные работы выполняются круглогодично. Организация камеральных работ и управление ими несколько проще, нежели организация полевых работ. Камеральные процессы выполняются на стационарных специализированных рабочих местах и легче поддаются автоматизации и механизации труда, при необходимости могут выполняться в две, три смены. Специализированные рабочие места группируются в участки, отделы, цеха. Физико-географические и экономические условия района работ. Объекты, на территории которых выполняются геодезические работы, расположены в различных физико-географических условиях [41].

Кроме географического расположения они различаются по рельефу (равнинный, всхолмленный, горный и т.п.), залесенности, заболоченности. Одни и те же виды и процессы работ в различных физико-географических и экономических условиях обладают различной трудоемкостью, требуют применения (в оптимальном варианте) индивидуальной для данного объекта технологии, нестандартной оснастки и транспортных средств различной проходимости. Так, например, весьма сложным является выполнение геодезических работ по картографированию территории в масштабе 1 : 25 000 в труднодоступной горной части Сурхандарьинского вилаята, что обуславливает разработку специальной технологии работ и применение вертолетов в качестве технологического транспорта, тогда как выполнение аналогичных работ на плоскоравнинных территориях Устюртского плато может производиться по типовым технологиям с применением автомобильного транспорта, что, в свою очередь, сокращает производственный цикл работ и финансовые издержки. К экономической развитости района работ, с точки зрения геодезического производства, в

первую очередь, относятся: густота населенных пунктов, автодорожная сеть с автозаправочными станциями; наличие возможности закупки стройматериалов (цемента, леса, металлического уголка для изготовления геодезических знаков, труб для изготовления центров и реперов и т.п.), приобретения продуктов питания, аренды транспорта, производственных помещений; наличие аэродромов, пунктов связи и т.п.

При слабой экономической развитости территории товароматериальные ценности, необходимые для производства, должны доставляться на участок работ извне, что повышает трудоемкость продукции и удельные издержки. Физико-географические и экономические условия во многом определяют не только технологию и технические средства, но и величину себестоимости, а, следовательно, и цену работ [42]. Поэтому цена одних и тех же видов геодезических работ в разных районах страны различна. Исходя из этого, прежде чем выполнять геодезические работы на объекте, на них составляется технический (или техно-рабочий) проект, в котором определяются как технические параметры объекта, так и сметная стоимость работ. Организационно-ликвидационные мероприятия. Наличие полевых работ и сезонность их выполнения обуславливают необходимость проведения специальных организационно-ликвидационных мероприятий (оргликов). Организационные мероприятия проводятся до начала полевого сезона с целью подготовки подразделений и бригад к ритмичной производительной работе в полевой период.

К организационным мероприятиям относятся: разработка рабочих проектов; создание баз полевого базирования подразделений; аренда производственных и жилых помещений, а в случае необходимости - и строительство для этих целей временных сооружений на участках работ; завоз на полевые базы материалов, оборудования, инвентаря; налаживание оперативной и аварийной связи; подготовка технологического транспорта и доставка его на полевые базы и объекты; проведение технической учебы с исполнителями предстоящих работ; наем рабочих на месте работ; регистрация полевых подразделений и транспорта в соответствующих органах местного самоуправления; организация производственного процесса и его функциональное обслуживание на объекте; укомплектование исполнителями бригад и партий, выдача бригадам производственных заданий; получение бригадами материалов, оборудования, снаряжения, транспортных средств; проведение технического тренажа; изучение и сдача зачетов по технике безопасности; проверка готовности бригад к выполнению полевых работ; доставка бригад на участок работ; организация работ и быта бригад на участке и др. От качества и своевременности проведения организационных мероприятий зависит качество работ, производительность бригад в полевой период и, в целом, ритмичность полевого производства предприятия. Ликвидационные мероприятия проводятся сразу по окончании полевого периода. К ним относятся: окончательная приемка работ у бригад; вывоз бригад на стационарную базу подразделений; расчет и увольнение временных

работников; реализация или консервация полевых баз; снятие с учета на объекте, вывоз транспортных средств и грузов с объекта работ; сдача оборудования и снаряжения соответственно в геокамеру и на склад; составление и сдача технической и финансовой отчетности и т.п. Из вышеизложенного видно, что организационно-ликвидационные мероприятия необходимы только для полевых работ [43].

В период оргликов производственный процесс по выпуску продукции не выполняется, однако без их проведения производственный процесс не может быть начат, а затем закончен без потерь ресурсов. Проведение организационно-ликвидационных мероприятий требует затрат труда, денежных средств и материальных ресурсов. Величины этих затрат могут достигать для отдельных районов России, в зависимости от физико-географических и экономических условий района работ, 70 и более процентов от стоимости самих геодезических работ. Поэтому орглики учитываются в сметах затрат на полевые работы и входят в цену продукции. Для определения затрат на орглики организации разрабатывают специальные нормативы и методики.

Творческий характер труда. Процессы геодезических работ представляют собой множество взаимосвязанных технологических операций. Так как они совершаются на одном рабочем месте, которое передвигается по участку работ, меняя при этом рабочую зону, то экономически нецелесообразно создавать рабочие места, специализированные на отдельных технологических операциях, на которых может быть использована менее квалифицированная рабочая сила. Кроме того, в зависимости от конкретных условий местности, непосредственному исполнителю геодезических процессов приходится самому выбирать оптимальные методы и способы выполнения процессов работ даже при наличии на них рабочих проектов. Так, например, работа по определению астрономических координат пункта структурно состоит из трех самостоятельных технологических процессов определения широты, долготы и азимута. В зависимости от конкретных погодных и физико-географических условий, исполнитель работ сам решает, каким методом ему целесообразно выполнять астрономические измерения. Например, астроном может принять решение определения широты по одному из способов: Галькотта, Певцова или из измерений близ меридианных зенитных расстояний северных и южных звезд; определение долготы может осуществляться также по одному из способов: Цингера, Делена или по способу равных высот из совместного определения широты и долготы; для определения азимута также можно выбрать один из способов: по часовому углу Полярной звезды или из наблюдений прохождения звезд в меридиане. В свою очередь, каждый из этих процессов состоит из большого комплекса технологических комплексных операций: выбор по астрономическому ежегоднику необходимых звезд, составление рабочих эфемерид, технические проверки и приведение в рабочее состояние астрономического универсального инструмента, ориентирование инструмента в меридиане места или первом вертикале, фиксация времени

прохождения звезды по хронометру, вертикальному и горизонтальному кругам и уровню, запись полученных данных в автоматизированный накопитель полевой информации или полевой журнал, проверка результатов измерений на внутреннюю сходимость, полевые вычисления, снятие центрировки и редукции и ряд других. Аналогичные примеры можно привести и по множеству других видов и процессов геодезических работ [44].

Таким образом, технологическая сложность отдельных процессов геодезических работ и необходимость исполнителю самостоятельно принимать решения по выбору методов и способов их выполнения, а в отдельных случаях - и формы представления окончательных результатов работ, не говоря уже о техническом и рабочем проектировании, требуют от него: творческого труда, наличия соответствующей выполняемой работе теоретической и практической профессиональной подготовки, позволяющей с заданным качеством и производительностью выполнять сложные процессы трудоемких геодезических работ. Поэтому в геодезическом производстве непосредственными исполнителями работ, как правило, являются специалисты со средним специальным геодезическим образованием, а на более сложных комплексных процессах, где в технологии, методах и способах их выполнения имеются неопределенности - инженеры. Сложность процессов полевых геодезических работ, невозможность выдачи производственного задания на процесс отдельному работнику, оценка работы по конечному результату диктуют необходимость применения на полевых работах бригадной формы организации труда [45].

Геодезическая изученность. Под геодезической изученностью понимается наличие на территории объекта предстоящих геодезических работ, достоверных геодезических материалов (геодезических координат пунктов, топографических карт, аэроснимков и др.) работ прошлых лет, удовлетворяющих полностью или частично требованиям заказчика (по точности, полноте содержания, закреплению на местности и т.д.). Если геодезическая изученность имеется на весь объект, и она полностью соответствует техническим требованиям, предъявляемым заказчиком к продукции, то, естественно, выполнение новых дорогостоящих геодезических работ нецелесообразно. В этом случае заказ выполняется путем копирования уже имеющихся материалов. В случае же частичного соответствия материалов прошлых лет заказу, они используются в той или иной мере как соответствующие комплектующие изделия. В общем случае при наличии геодезической изученности фактические объемы продукции (работ), подлежащие изготовлению организацией согласно задания заказчика можно выразить формулой:

$$V_i = V_{i,з} - V_i,$$

где V - объем продукции, подлежащей изготовлению; $V_з$ - объем продукции, требуемый потребителем (заказчиком); V_i - объем продукции в составе структуры геодезической изученности; i - индекс продукции, $i = 1, m$.
Пример. В Кизилтепа топографо-маркшейдерскую экспедицию поступил

платежеспособный заказ от АО «Темиртау» на геодезические работы по созданию в 2002 году геодезической плановой сети 4 класса плотностью 1 пункт на 5 - 6 кв. км, нивелирной сети 3 класса плотностью 1 репер на 10 кв. км и топографической съемки масштаба 1 : 5 000 с сечением рельефа через 2 метра на участок площадью 60 кв. км горного отвода рудника «Темиртау». При изучении заказа установлено по данным Каракалпакской территориальной инспекции Государственного геодезического надзора, что в районе, куда входит 70% территории заказа, выполнялись в 2016-2019 гг. геодезические работы по реконструкции геодезической сети 2 - 3 класса со средней плотностью 1 пункт на 25 кв. км, нивелирование 3 класса с плотностью 1 репер на 20 кв. км, выполнены аэрозалеты (аэрофотосъемка) в масштабе 1 : 15 000 и созданы топографические карты масштаба 1 : 10 000. Плановая геодезическая сеть 2-3 класса по точности удовлетворяет требованиям заказа, однако по плотности - нет, поэтому необходимо ее сгустить пунктами 4 класса. Дополнительное количество необходимых геодезических пунктов в данном примере должно быть не менее $N = P/P_{об} - P^* / P_{ф}$, (2.2) где N - количество необходимых геодезических пунктов в соответствии с требуемой заказчиком плотностью; P - площадь объекта работ, кв. км; $P_{об}$ - площадь обслуживания одним пунктом соответственно требуемая и с учетом всех классов точности, но ниже требуемой, и фактически имеющаяся, кв. км/пункт; $-$ коэффициент охвата территории объекта геодезической изученностью. Подставляя в формулу исходные данные по геодезической изученности, получим количество создаваемых пунктов плановой сети $N_{пл.} = (60 \text{ кв. км} : 6 \text{ кв. км/пункт}) - (60 \text{ кв. км} * 0.7 : 25 \text{ кв. км/пункт}) = 8$ пунктов. Существующая высотная сеть 3 класса по точности удовлетворяет заказу. При этом дополнительное количество создаваемых реперов нивелирования ($N_{выс}$) определяется также по формуле (2.2). $N_{выс} = (60 \text{ кв. км} : 10 \text{ кв. км/репер}) - (60 \text{ кв. км} * 0.7 : 20 \text{ кв. км /репер}) = 4$ репера. Учитывая, что, согласно технической инструкции по нивелированию репера располагаются между собой на расстоянии не более 5 км, нетрудно подсчитать объем нивелирования по формуле:

$$L = (r * b_{ср}) * (1 + L_{пр}) * k_{из},$$

где L - протяженность нивелирного хода, км; r - количество определяемых реперов, шт.; $b_{ср}$ – среднее расстояние между реперами, исходя из требуемой точности нивелирования и плотности реперов (но не более допустимого инструкцией по нивелированию), км; $L_{пр}$ - длина привязочного нивелирного хода (ход от исходных реперов, не входящий в территорию объекта, до определяемых), км, норматив длины привязочного хода по статистическим данным ряда организаций не превышает 7% от общей длины нивелирных ходов на объекте; $K_{из}$ – коэффициент извилистости хода, обусловлен рельефом местности. Расстояние $b_{ср}$ можно определить по формуле:

$$b_{cp} = 0.87 P_{об}$$

Для рассматриваемого примера будем иметь: $b_{cp} = 10 \text{ кв. км} / 0.87 = 3.4$ км. И общая длина нивелирного хода 3 класса, определяемая по формуле (2.3), при коэффициенте извилистости 1.25 будет равна $L = 4 \text{ реп} * 3.4 \text{ км/реп} * (1 + 0.07) * 1.25 = 18.2$ км. Топографической съемки масштаба 1 : 5 000, заданного заказчиком, на объект нет, поэтому она подлежит исполнению в полном объеме 60 кв. км. При этом при достаточном экономическом обосновании целесообразности аэростереотопографической съемки, могут быть использованы имеющиеся аэроснимки залета масштаба 1:15 000, при условии, что за прошедшие годы поверхность практически не изменилась, объем аэрофотосъемочных работ можно определить по формуле

$$P' = P - P *$$

где P' - площадь, не обеспеченная соответствующими материалами геодезической изученности (в частности аэроснимками) кв. км.

Подставляя в формулу исходные данные по аэрофотосъемке, получим

$$P' = 60 - 60 * 0.7 = 18 \text{ кв. км.}$$

Таким образом, с учетом геодезической изученности минимальные объемы работ по объекту «Темиртау» свидетельствуют о том, что наличие геодезической изученности сокращает объемы работ по объекту и, как следствие, сокращает стоимость объекта в целом. Это могут использоваться при проведении маркетинговых исследований рынка геодезической продукции и для установления предварительных объемов геодезических работ на конкретном объекте. Естественно, в дальнейшем объемы уточняются техническими проектами. Специфические особенности, такие, как: физико-географические и экономические условия района работ; наличие оргликов и геодезическая изученность - обуславливают применение для экономического управления производством проектно-сметного метода. Сущность данного метода заключается в том, что на каждый объект (заказ) составляется технический или технорбочий проект, в котором определяются виды и объемы геодезических работ, прорабатываются вопросы организации производственного процесса на объекте, затем определяется сметная стоимость работ и, при необходимости, их рыночная или договорная цена. Специфические особенности в совокупности оказывают существенное влияние на длительность производственного цикла, формирование и использование основного и оборотного капитала, загрузку подразделений, производительность и стимулирование труда, режим работы, формирование амортизационного фонда и организацию производственного процесса в целом. В последующем, при детальной проработке заказов и составлении технических проектов, объемы геодезических работ уточняются и могут превышать объемы, это вызвано геометрией сетей, влиянием рельефа на протяженность ходов и др. Специфические особенности и технологическая однородность изготовления и применения геодезической продукции обуславливают объединение геодезических фирм в рамках межотраслевой

специализации в отдельное специализированное геодезическое производство. Выделение геодезического производства в самостоятельное улучшает в государственном масштабе технико-экономическое управление им, требует меньше затрат налогоплательщиков на топографо-геодезическое обеспечение и снижает затраты заказчиков. Эффективность производства в целом на государственном уровне достигается за счет выработки и соблюдения соответствующих общих правил и принципов его функционирования [46].

РОЛЬ ГЕОДЕЗИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ранее отмечалось, что уже в древности при строительстве тех или иных сооружений выполнялись геодезические работы. В настоящее время геодезические измерения находят самое широкое применение при инженерных изысканиях — изучении участка предполагаемого строительства, проектировании, строительстве зданий и сооружений, монтаже оборудования, наблюдениях за деформациями в процессе эксплуатации зданий и различных инженерных сооружений [47].

В данной монографии будут рассматриваться также вопросы, которые иногда объединяют под названием «строительная геодезия». Сутью традиционных геодезических работ является производство измерений тех или иных геометрических величин на земной поверхности в целях определения планового и высотного положений конкретных точек или линий на ней. С другой стороны, существует обратная задача, не рассматриваемая в рамках традиционной геодезии, — определение и закрепление на местности точек или линий, положение которых задано в некоторой системе координат и высот на земной поверхности. В последнем случае соответствие фактического планового и высотного положений возводимых зданий и сооружений их проектному положению может существенным образом влиять на эксплуатационные характеристики этих объектов: долговечность, устойчивость, прочность и т.п. Таким образом, по сравнению с общей (традиционной) геодезией, строительная геодезия имеет свои собственные задачи.

Еще одна отличительная особенность геодезических работ в строительстве — более высокие требования к точности измерений, что характерно даже при возведении не самых сложных объектов строительства. При строительстве некоторых уникальных сооружений требуется чрезвычайно высокая точность геодезических измерений. Так, например, при строительстве одного объекта для проведения физических экспериментов требовалось измерять разность высот двух точек, расположенных на удалении 200 м друг от друга, с точностью 0,05 мм. В связи с указанным фактом на одной из международных научных конференций отмечалось, что проведение физических экспериментов стало возможным только благодаря очень высокой точности геодезических измерений. Проведение таких работ требует весьма серьезных усилий, разработки неординарных методов и средств измерений.

Точность соответствия фактического планового и высотного положения конструкций и оборудования их проектному положению регламентируется соответствующими Строительными нормами и правилами (СНиП).

В целях выполнения всех указанных требований нормативных документов и согласования геодезических и строительно-монтажных работ на объекте строительства должна разрабатываться специальная часть проекта производства работ (ППР). При строительстве сложных зданий и сооружений разрабатывается самостоятельный проект производства геодезических работ (ППГР). Его основными разделами являются:

- 1) организация геодезических работ на строительной площадке;
- 2) основные геодезические работы;
- 3) геодезическое обеспечение возведения надземной части зданий и сооружений;
- 4) геодезическое обеспечение возведения подземной части зданий и сооружений.

Таким образом, геодезические работы — неотъемлемая часть сложного и длительного процесса — проектирования, возведения и эксплуатации зданий и разнообразных инженерных сооружений, поэтому специалисты-строители должны уметь:

- 1) непосредственно выполнять основные виды геодезических работ;
- 2) осуществлять проверку качества геодезических работ;
- 3) осуществлять общее руководство и организацию геодезических работ на объекте строительства.

ФИГУРА ЗЕМЛИ

Исходными понятиями при определении фигуры и размеров Земли служат понятия «отвесная линия» и «уровенная поверхность». Отвесная линия — это прямая, совпадающая с направлением действия силы тяжести в данной точке [2]. Уровенной поверхностью называют поверхность, в каждой точке которой нормаль к поверхности совпадает с отвесной линией. Существует бесконечное множество уровенных поверхностей: через каждую точку околоземного пространства и земной поверхности можно провести (единственную) уровенную поверхность. Уровенные поверхности всюду *непрерывны, замкнуты и выпуклы* (рис. 2). За фигуру Земли в целом принимается геоид — уровенная поверхность, совпадающая с поверхностью Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия и продолженная под материками [48].

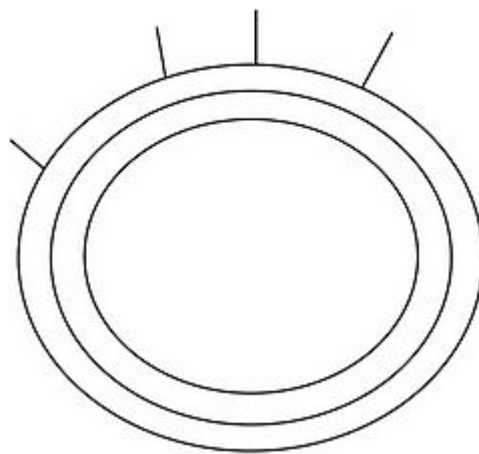


Рис.2. Уровенные поверхности

Форма уровенных поверхностей зависит от распределения масс внутри Земли, центробежной силы, возникающей вследствие суточного вращения Земли, влияния Луны и планет Солнечной системы и других менее значимых факторов, например распределения воздушных масс в околоземном пространстве. Уравнение геоида представляет собой очень сложную функцию, которая не может быть определена без знания распределения плотностей масс внутри Земли, поэтому по предложению русского геодезиста М.С. Молоденского изучение геоида заменяется изучением *квазигеоида* — поверхности, на океанах совпадающей с геоидом, а на материках отклоняющейся от него не более чем на 2 м.

Поверхность геоида является *физической моделью* Земли, она близка к поверхности *сфероида*, или *эллипсоида вращения*, полученного вращением эллипса вокруг малой оси, в связи с чем в качестве *геометрической модели* земной поверхности в целом принимают эллипсоид вращения. Отклонение геоида от эллипсоида не превышает 150 м. При этом различают земной эллипсоид и референц-эллипсоид. Под земным эллипсоидом понимается эллипсоид, характеризующий фигуру и размеры Земли в целом. Референц-эллипсоид — эллипсоид, принятый для обработки геодезических

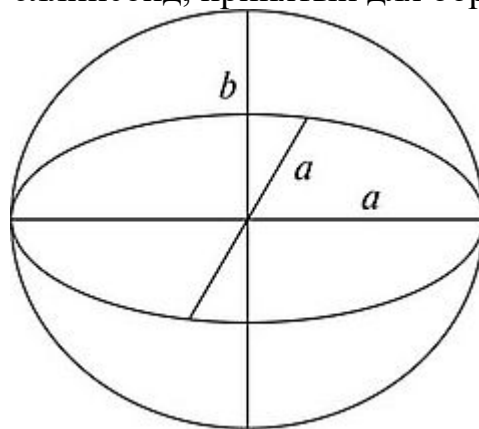


Рис. 3. Земной эллипсоид

измерении и установления системы геодезических координат в пределах страны или группы стран.

В России в качестве геометрической модели Земли был принят *эллипсоид Красовского*, большая полуось которого $a = 6\,378\,245$ м, малая полуось $b = 6\,356\,863$ м, сжатие ос, называемое иногда *полярным* и представляющее собой отношение (рис. 3)

$$\text{ос} = a - b : 298,3 \cdot a$$

Другими величинами, характеризующими форму эллипсоида, являются *первый эксцентриситет*

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}, \text{ л/я}^2 = b^2 e^2 \quad (1.1)$$

и *второй эксцентриситет* (1.2)

В математике эксцентриситет e эллипса определяется как отношение расстояния любой точки эллипса до фокуса к расстоянию ее до соответствующей директрисы [47]:

$$e = \frac{r_1}{d_1} = \frac{r_2}{d_2} \quad (1.3)$$

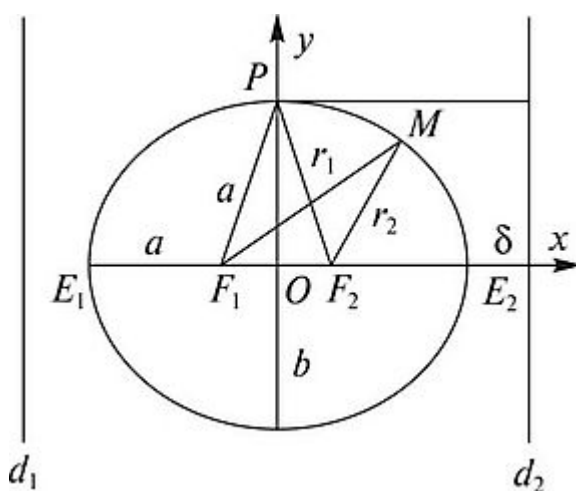


Рис. 4. Параметры эллипса

Можно показать, что данное определение эксцентриситета e и «геодезическое» определение первого эксцентриситета эквивалентны. Для этого запишем значение эксцентриситета эллипса для точки P (рис. 4):

$$e = a + 5 \quad (1.4)$$

где 5 — расстояние от точки экватора E_2 до директрисы cl_2 .

Значение эксцентриситета для точки E_2 на экваторе может быть представлено выражением

$$e = a + 5c \quad (1.5)$$

где c — фокусное расстояние.

Из сравнения двух последних выражений следует

$$a \sim a + 8c$$

Отсюда далее находим

$$\delta = \Phi \sim \lambda$$

Подставив данное значение в (1.4) или в (1.5), получаем

$$e = \frac{f}{a},$$

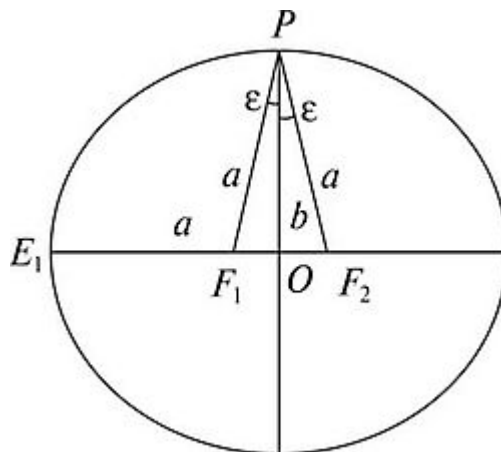


Рис. 5. Новая интерпретация параметров эллипса

а это и есть значение первого эксцентриситета, как это видно на рис. 4. Таким образом, мы установили эквивалентность «математического» определения эксцентриситета и «геодезического» определения первого эксцентриситета. Преимущество формулы (1.3) состоит в том, что значение эксцентриситета служит характеристикой не только эллипса, но и других конических сечений — параболы и гиперболы. Достоинство выражения (1.1) для первого эксцентриситета (как и (1.2) для второго) заключается в очевидности, оно более наглядно выражает форму эллипса: чем больше

разность полуосей a и b , тем больше эксцентриситет, и наоборот. При $e = 0$ эллипс превращается в окружность [48].

Можно дать другую интерпретацию первого и второго эксцентриситетов. На рис. 1.5 точки U^7 , и P_2 — фокусы эллипса; P — полюс; отрезки прямой PU^7 , и PP_2 равны большой полуоси a . Легко видеть, что первый эксцентриситет

$$e = \text{БПЄ}, a(1.6)$$

второй эксцентриситет

$$(\text{Г} = \Gamma(1.7))o$$

где символ Γ использован для обозначения второго эксцентриситета как более удобный и как напоминание о тангенсе угла e между отрезком PP_2 и малой полуосью b .

Таким образом, основным (или первичным) параметром формы эллипса можно считать угол e . Значения всех величин, характеризующих форму эллипса, легко могут быть получены как функции угла e , в частности формулы (1.6), (1.7), $k = a / b = 1 / \text{и т.п.}$

МЕТОД ПРОЕКЦИЙ

Точки земной поверхности характеризуются разной высотой, поэтому измеряемые линии и углы располагаются не на математической поверхности, а в трехмерном пространстве, но поскольку во многих случаях требуется знание положения точек, линий или каких-либо объектов и величин именно на математической поверхности (модели), постольку в геодезии используется *метод проекций*. Выбор математической поверхности, служащей *моделью земной поверхности*, зависит от размеров отображаемой земной поверхности и требуемой точности определения и представления геометрических величин [49].

При съемках больших территорий и отображении их на картах в качестве геометрической модели земной поверхности используется сфера или эллипсоид вращения. При съемках небольших участков земной поверхности в качестве ее геометрической модели используется плоскость.

Суть метода проекций в геодезии заключается в том, что точки физической (реальной) земной поверхности ортогонально проектируются на горизонтальную плоскость (или на сферу, или на эллипсоид). При этом важную роль играют горизонтальные и вертикальные плоскости. Горизонтальная плоскость — плоскость, перпендикулярная к отвесной линии, проходящей через данную точку. Вертикальная плоскость — плоскость, проходящая через отвесную линию в данной точке [42].

С

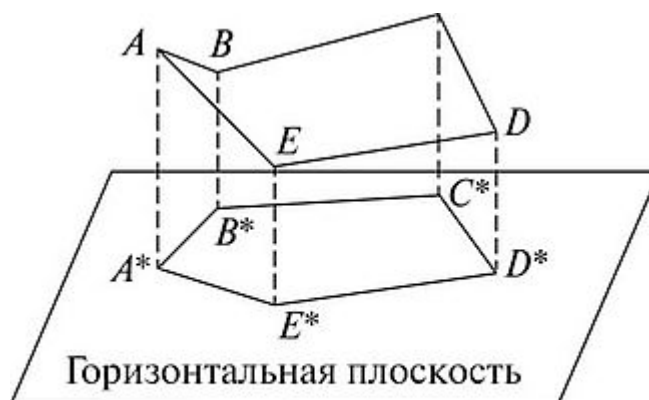


Рис. 1.6. Метод проекций

Проекция многоугольника на горизонтальную плоскость приведена на рис. 6, на котором проекции точек обозначены соответствующими латинскими буквами со звездочкой. Поскольку проектирование на плоскость осуществляется только для небольших участков земной поверхности, вследствие чего углы между отвесными линиями весьма незначительны, постольку искажения углов и расстояний на земной поверхности при их проектировании на горизонтальную поверхность также малы, этими искажениями можно пренебречь.

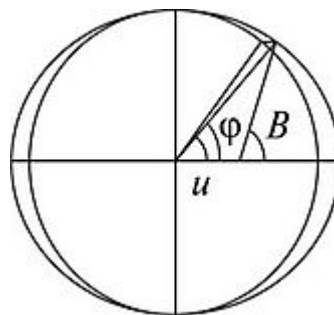
СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

В зависимости от решаемых задач и от размеров отображаемых участков земной поверхности используются различные системы координат. Основными критериями при их выборе служат точность и эффективность решения возникающих задач. Наиболее часто применяются сфероидические координаты, плоские и пространственные прямоугольные координаты, полярные координаты [50].

В системах сфероидических координат положение точки на эллипсоиде задается широтой и долготой. Широта и долгота определяются соответственно относительно экватора и начального меридиана. Меридианом называют сечение эллипсоида плоскостью, проходящей через малую ось эллипсоида, а соответствующую плоскость — плоскостью меридиана. Гринвичский меридиан принято считать начальным, или нулевым. Двугранный угол между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через данную точку (рис.7), называют долготой точки на эллипсоиде.



Рис.7. Долготы и широты



Долгота обычно обозначается латинской буквой λ или греческой буквой λ и отсчитывается от Гринвичского меридиана от 0 до 180° на восток (*восточная долгота*) и на запад (*западная долгота*). Более удобным является отсчитывание долгот от Гринвичского меридиана на восток от 0 до 360° .

Сечения эллипсоида плоскостями, перпендикулярными малой оси, образуют окружности, называемые параллелями. Сечение эллипсоида плоскостью, перпендикулярной его малой оси и проходящей через центр эллипсоида, называют экватором. Таким образом, экватор — это параллель с наибольшим радиусом.

Геоцентрической широтой ϕ точки на эллипсоиде называют угол между радиус-вектором этой точки и плоскостью экватора (см. рис. 1.7). Геодезической широтой B точки на эллипсоиде называют угол между нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке и плоскостью экватора. Приведенной широтой u точки на эллипсоиде называют широту точки на сфере, являющейся прообразом точки на эллипсоиде при линейном отображении сферы на эллипсоид.

Геодезические координаты представляют собой три величины, две из которых характеризуют направление нормали к поверхности земного эллипсоида в данной точке пространства относительно экватора

(геодезическая широта) и начального меридиана (долгота), а третья является высотой точки над поверхностью земного эллипсоида [42].

В системе прямоугольных пространственных геоцентрических координат ХУХ начало координат совпадает с центром эллипсоида,



Рис. 8. Пространственные координаты

ось Z направлена по малой полуоси от центра эллипсоида к северному полюсу, ось X совпадает с пересечением плоскости экватора и плоскости начального меридиана; ось Y лежит в пересечении плоскости экватора и плоскости меридиана с долготой 90° (рис. 8). Данная система координат используется преимущественно в космической геодезии.

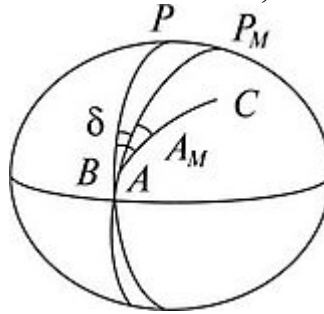
Положение точки на плоскости может определяться в системе плоских прямоугольных координат и в системе полярных координат. *Плоские прямоугольные геодезические координаты* представляют собой прямоугольные координаты на плоскости, на которой отображена по определенному математическому закону поверхность земного эллипсоида [32]. В системе полярных координат на прямой, называемой *полярной осью*, выбирается точка, служащая *полюсом*, и на этой прямой задается направление, от которого отсчитываются углы по часовой стрелке. Положение точки определяется значением угла и значением расстояния от нее до полюса.

При съемках сравнительно небольших участков местности используются *условные системы* координат, хотя такие координаты более удобны, так как они изменяются в небольших пределах, и оперировать ими проще, они обладают тем недостатком, что не дают возможности представить положение точки на земном эллипсоиде.

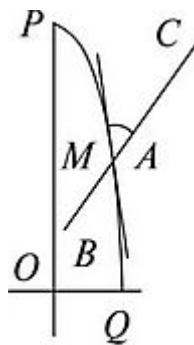
ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ

Ориентировать линию — означает определить ее направление относительно некоторой другой линии, положение которой известно. В качестве такой известной линии обычно принимается направление истинного или магнитного меридиана. Ориентирование линий задается с помощью азимутов, дирекционных углов и румбов.

Азимутом линии в некоторой точке называют горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления меридиана, проходящего через точку, до направления данной линии. На рис. 9, а точки P и P_M — истинный и магнитный полюсы соответственно, A и A_M — истинный и магнитный азимуты линии BC в точке B . Если отсчет ведется от истинного меридиана, азимут называют *истинным*; если от магнитного, — *магнитным*. Из данного определения следует, что азимуты изменяются в пределах от 0 до 360° , т.е. всегда имеет место соотношение $0^\circ < A < 360^\circ$. Если в результате тех или иных вычислений значение азимута оказывается $A < 0^\circ$, то к нему прибавляют 360° , если же $A > 360^\circ$, то из него вычитают 360° .

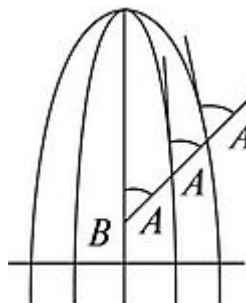


а



б

Р



С

в

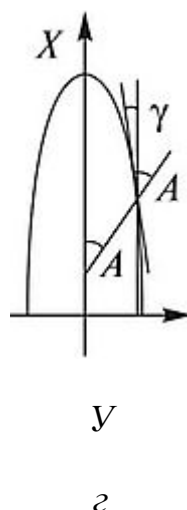


Рис.9. К определению азимута: *а* — на эллипсоиде; *б, в, г* — в проекции Гаусса — Крюгера

Поскольку истинный и магнитный полюсы не совпадают, постольку в одной и той же точке на земной поверхности истинный и магнитный азимуты различаются. Склонением магнитной стрелки δ называют горизонтальный угол между направлением истинного меридиана и направлением магнитной стрелки (магнитным меридианом) в данной точке земной поверхности (см. рис. 9, *а*). При отклонении магнитной стрелки на восток относительно истинного меридиана склонение магнитной стрелки считается *восточным* (*положительным*), при отклонении на запад — *западным* (*отрицательным*). Значение магнитного азимута с точностью порядка Г легко установить с помощью специального прибора — *буссоли*; менее точно — с помощью *компас*. Если известно значение магнитного азимута, то значение истинного азимута A может быть вычислено по формуле

$$A = A_m + \delta,$$

где A_m — магнитный азимут; δ — склонение магнитной стрелки.

Склонение магнитной стрелки подвержено суточным, годовым и вековым изменениям. Его величина на некоторую дату и скорость изменения обычно указываются на топографических картах.

В равновеликой проекции Гаусса — Крюгера соотношение между истинным и магнитным азимутами сохраняется.

В проекции Гаусса — Крюгера все меридианы, за исключением осевого меридиана, и все параллели, за исключением экватора, изображаются кривыми (см. рис. 9, *в*). *Направлением меридиана* в данной точке является направление касательной к нему (см. рис. 9, *б*). При движении точки по прямой (см. рис. 1.9, *в*) происходит изменение азимута последней на некоторую величину u :

$$A_2 = A + y,$$

называемую сближением меридианов (угол между меридианом, проходящим через заданную точку на прямой, и осевым меридианом на рис. 1.9, г), которое может быть представлено приближенной формулой

$$y = \Delta\lambda \cdot \sin \varphi,$$

где $\Delta\lambda$ — разность долгот между меридианом заданной точки и осевым меридианом; φ — широта заданной точки.

Может быть дано также следующее определение: *сближение меридиана* на плоскости, называемое также *гауссовым сближением меридианов*, в некоторой точке есть угол между касательной к меридиану, проходящему через данную точку в проекции Гаусса — Крюгера, и прямой, параллельной оси абсцисс (см. рис. 1.9, з).

Для отрезка прямой, ограниченного точками A и B , т.е. линии AB , принято различать прямой и обратный азимуты. Прямой азимут линии AB обозначают $A_{ЛВ}$, обратный — $A_{ВА}$. Зависимость между прямым и обратным азимутами выражается формулой

$$A_{ВА} = A_{ЛВ} + 180^\circ + y.$$

Изменение азимута при движении вдоль некоторой прямой на плоскости на практике оказывается довольно неудобным свойством, что видно из последнего соотношения между прямым и обратным азимутами. Чтобы избавиться от такого недостатка, при ориентировании линий на плоскости (топографической карте в проекции Гаусса — Крюгера) вместо азимутов используют дирек-ционные углы. Дирекционный угол α — угол между проходящим через данную точку направлением и линией, параллельной осевому меридиану, измеряемый по часовой стрелке от северного направления осевого меридиана или линии, параллельной ему (на рис. 10 прямая P параллельна осевому меридиану). В проекции Гаусса — Крюгера ось абсцисс параллельна осевому меридиану, поэтому можно дать другое определение дирекционного угла. *Дирекционный угол α* — угол между проходящим через данную точку направлением и осью абсцисс, отсчитываемый по часовой стрелке от положительного (северного) направления оси абсцисс. Из данного определения следует, что:

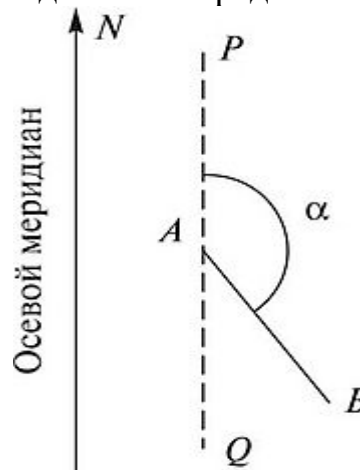


Рис. 10. Дирекционный угол

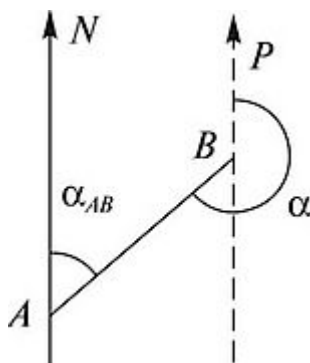


Рис.11. Прямой и обратный дирекционные углы

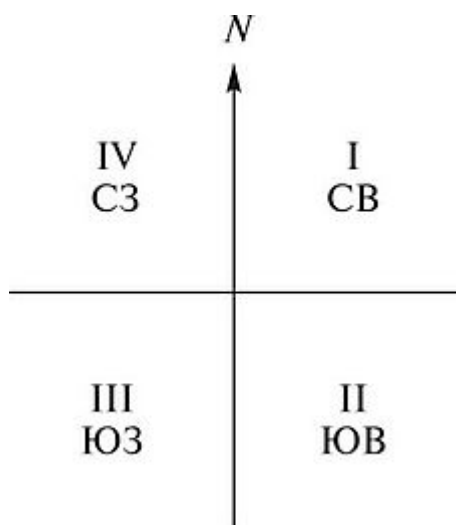


Рис.12. Четверти румбов

- 1) дирекционный угол прямой *не изменяется* на всем ее протяжении;
- 2) как и азимуты, дирекционные углы лежат в пределах $0^\circ < \alpha < 360^\circ$.

Зависимость между прямым и обратным дирекционными углами произвольной линии AB выражается более простым соотношением (рис. 11):

$$\alpha_{BA} \sim \alpha_{AB} - 180.$$

Если в данной формуле значение прямого дирекционного угла $\alpha_{AB} < 180^\circ$, то

$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} - 180$, в противном случае

$$(\alpha_{BA} = \alpha_{AB} + 180)$$

Следует заметить, что понятия «прямой дирекционный угол» и «обратный дирекционный угол» являются относительными. Если говорят о дирекционном угле стороны AB , то прямым будет α_{AB} , а обратным

— a_{BA} . Если говорят о дирекционном угле стороны BA , то прямым будет a_{BA} , а a_{AB} обратным.

В связи с необходимостью использования при разного рода вычислениях таблиц тригонометрических функций, которые в силу их (функций) периодичности составлялись в диапазоне от 0 до 90° , для ориентации линий были предложены румбы. Румб — угол α , измеряемый от ближайшего направления осевого меридиана или линии, параллельной ему, до заданной линии. Румбы измеряются в диапазоне от 0 до 90° и характеризуются *четвертью* (СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ) и *значением*. Нумерация и обозначение четвертей приводятся на рис.12.

При записи румбов вначале указывается четверть, затем через двоеточие — значение румба (например, ЮЗ: $38^\circ 15' 04,5''$). Формулы связи между дирекционными углами и румбами для соответствующих четвертей имеют следующий вид:

$\alpha = \alpha$; $\alpha_2 = 180^\circ - \alpha$; $\alpha_3 = \alpha - 180^\circ$; $\alpha_4 = 360^\circ - \alpha$, где индекс обозначает номер четверти.

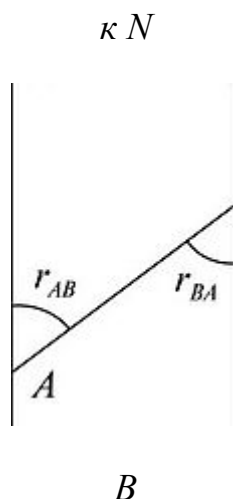


Рис. 13. Прямой и обратный румбы

Очевидно, что прямой и обратный румбы любой линии отличаются друг от друга только четвертью, а именно: четверть меняется на противоположную (рис. 13), численное значение румба не изменяется.

Зависимость между *горизонтальным углом* P и дирекционными углами сторон выражается формулой, следующей из рис.14:

$$P = \alpha_{BC} - \alpha_{BA},$$

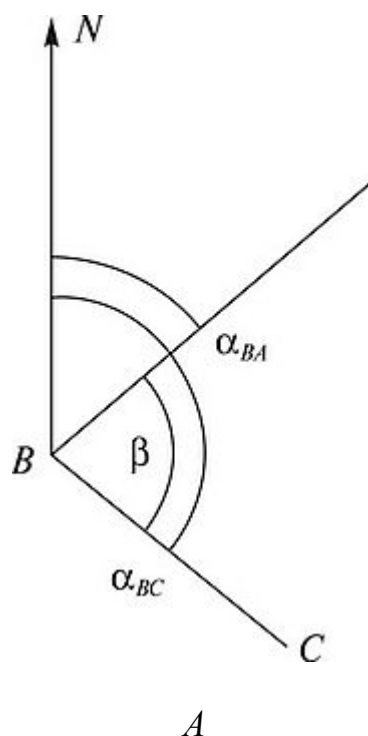


Рис.14. Связь между углами

где a_{bc} — дирекционный угол правой стороны горизонтального угла P ; a_{ba} — дирекционный угол его левой стороны.

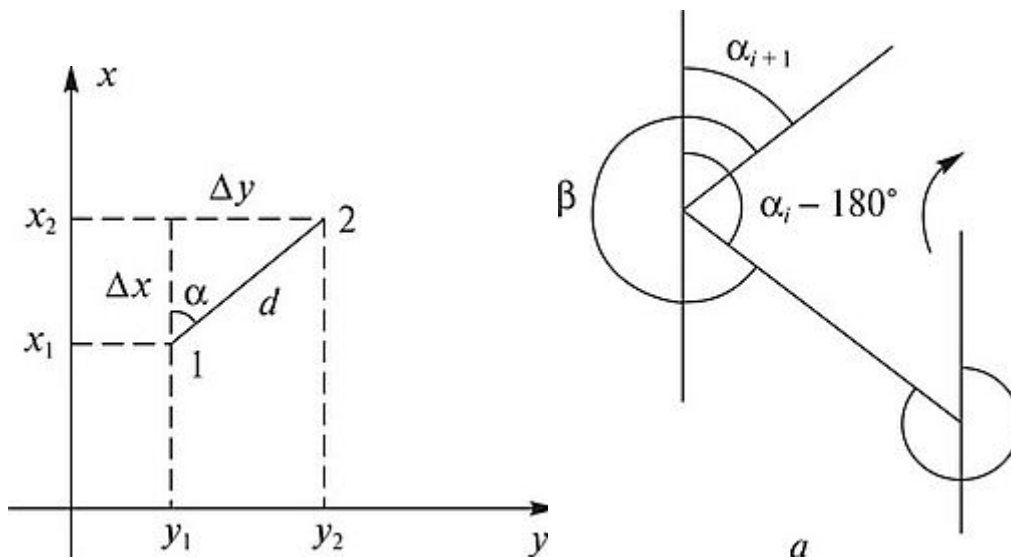
Если известен дирекционный угол некоторой стороны, то, измерив горизонтальный угол между ней и смежной стороной, можно определить дирекционный угол второй стороны. Если затем измерить угол между второй стороной и некоторой смежной с ней третьей стороной, то можно вычислить дирекционный угол последней. Очевидно, что эту последовательность можно продолжить необходимое число раз и определить дирекционный угол стороны, удаленной от начальной на значительное расстояние. Если в таком построении измерялись углы *Р левые* по ходу. (рис.15, *а*), то зависимость между дирекционными углами последующей и предыдущей линии выражается формулой

$$a_{i+1} = a_i - 180^\circ + p,$$

а если измерялись углы *правые* по ходу (см. рис.15, *б*), то формулой

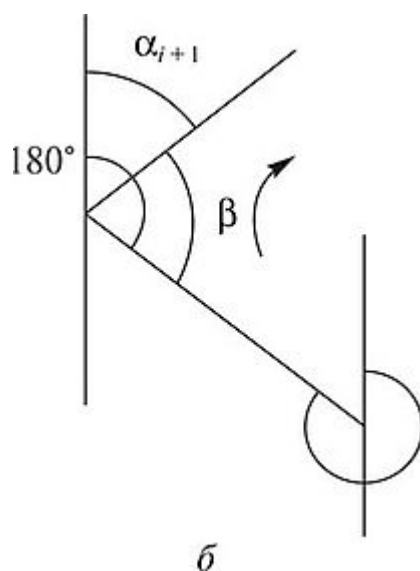
$$a_{i+1} = a_i + 180^\circ - p.$$

Более удобным является использование левых горизонтальных углов, так как сложение выполнять проще, чем вычитание.



ос,+

а,



а,

Рис. 15. Передача дирекционного угла

ГЛАВНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

Геодезия как практическая геометрия занимается решением задач на земной поверхности, на которой непосредственно могут быть измерены горизонтальные углы и расстояния. Положение точек на плоскости определяется с помощью координат. Однако измерять координаты непосредственно (с применением традиционных геодезических приборов) не представляется возможным, поэтому измеряются другие геометрические величины — углы и расстояния, в связи с чем возникает задача вычисления

координат по значениям других геометрических величин. С другой стороны, часто известны координаты точек (например, измерены на плане), а требуется найти расстояние между ними или некоторые углы. Подобные задачи возникают очень часто, вследствие чего они названы главными геодезическими задачами [50].

Главными геодезическими задачами на плоскости являются прямая и обратная задачи. Прямая геодезическая задача на плоскости формулируется следующим образом: по заданным координатам x_1 и y_1 , точки 1, дирекционному углу α и длине s стороны 1—2 вычислить координаты точки 2 (рис.16). Приращения координаты точки 2 (рис.16). координат, для решения указанной задачи вначале вычисляют приращения координат:

$$\Delta x = s \cdot \cos \alpha;$$

$$\Delta y = s \cdot \sin \alpha,$$

после чего находят координаты определяемой точки:

$$x_2 = x_1 + \Delta x; y_2 = y_1 + \Delta y$$

Контроль вычислений заключается в определении расстояния по формуле

$$s = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}.$$

В инженерных приложениях отклонение вычисленного расстояния s от заданного обычно не должно превышать 1 см.

Обратная геодезическая задача на плоскости заключается в вычислении по заданным координатам двух точек (1 и 2) дирекционного угла и длины стороны 1—2. Для ее решения находят приращения координат:

$$\Delta x = x_2 - x_1;$$

$$\Delta y = y_2 - y_1$$

После чего, игнорируя знаки приращений координат, вычисляют величину тангенса румба

$$\text{tgr} = \frac{\Delta x}{\Delta y},$$

значение румба

Ду Ах N κ

IV	I
Дх+	Дх+
Ау-	Ду+
Ах-	Ах-
Ау-	Ду+
III	II

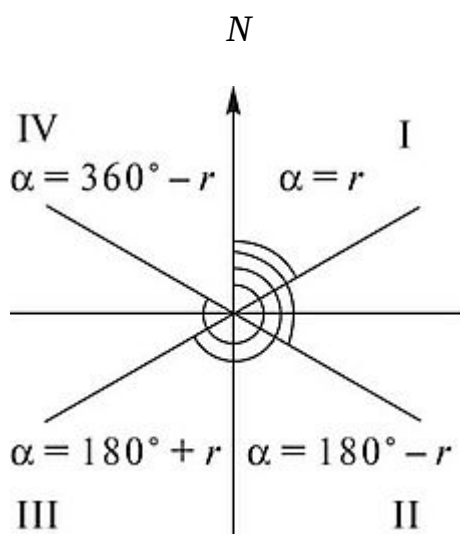
Рис. 17. Знаки Дх и Ду

$z = \alpha^{\wedge}$ и расстояние $cl = \sqrt{ax^2 + Ay^2}$.

Четверть румба определяется в соответствии со знаками приращений координат Ах и Ау (рис.17). Зависимость между дирекционными углами и румбами определяется четвертью румба (рис.18).

Контроль вычислений осуществляется по формуле

Ах	Ду
СОБОС	вша



Расхождения в значениях расстояний, как правило, не должны превышать 1—2 см.

АБСОЛЮТНЫЕ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ВЫСОТЫ

Углы и румбы

Высота есть расстояние от точки до выбранной отсчетной поверхности по нормали к этой поверхности. В геодезии различают геодезическую высоту, ортометрическую высоту и нормальную высоту. Геодезическая высота — это расстояние точки до поверхности земного эллипсоида. Ортометрическая высота — высота точки над поверхностью геоида. Нормальная высота — величина, численно равная отношению геопотенциальной величины в данной точке к среднему значению нормальной силы тяжести Земли по отрезку, отложенному от поверхности земного эллипсоида [32]. Далее мы будем иметь дело с геодезической высотой. В зависимости от выбранной уровенной поверхности высоты подразделяются на абсолютные, условные и относительные. Абсолютной высотой называют расстояние по отвесной линии от точки до уровенной поверхности, принятой за начало отсчета высот. Условной высотой называют расстояние по отвесной линии от точки до некоторой другой уровенной поверхности. Абсолютные и условные высоты точек называют также отметками, или альтитудами.

В России в качестве *государственной системы высот* принята *Балтийская система высот*, счет высот в которой выполняется от нуля *Кронштадтского футштока*, соответствующего среднему уровню Балтийского моря. Кронштадтский футшток представляет собой *водомерный пост* — закрепленную вертикально рейку с делениями, с помощью которой осуществляется наблюдение за уровнем воды. Таким образом, Кронштадтский футшток служит для фиксации начала Балтийской системы высот.

Относительной высотой, или превышением, называют разность высот двух точек. Превышение точки L над точкой B есть разность

Для высот также справедливо понятие «обратное превышение»: если $K_{лв}$ — некоторое превышение, то $K_{вл} = H_v - H_l$ — обратное превышение. Если прямое превышение $H > 0$, то обратное $K_{обр} < 0$, и наоборот.

ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерение — процедура сопоставления некоторой физической величины с однородной величиной, принятой за единицу меры. Измерения могут быть либо *непосредственными* (*прямыми*), либо *косвенными* (*непрямыми, опосредованными*). При не прямых измерениях измеряется не сама величина, а другие величины, функцией которых она является. Здесь интересно отметить, что математика вначале понималась как наука о величинах, предмет которой состоит в не прямом измерении величин. Но с такой точкой зрения было практически покончено еще во времена Древней Греции, когда математиков стали больше интересовать такие теоретические вопросы, как свойства чисел

и свойства пространства, а практическая арифметика (искусство счета) и практическая геометрия (т.е. геодезия, землемерие) отошли на второй план.

В процессе геодезических работ на земной поверхности или в околоземном пространстве измеряются геометрические величины: углы и расстояния, высоты точек или их разности — превышения, азимуты линий, широты и долготы точек и т.д. — либо физические: атмосферное давление, значения силы тяжести, температура воздуха и т.п., поэтому геодезические измерения могут быть условно разделены на *геометрические* и *физические*, хотя геометрические величины, безусловно, должны быть отнесены к физическим. Измерения геометрических величин традиционно подразделяются на угловые, линейные, а также измерения превышений (разностей высот) и площадей.

При этом используются как прямые, так и не прямые измерения, поскольку в некоторых случаях прямые измерения либо невозможны, либо неэффективны. Особенность геодезических измерений — их привязка к земной поверхности в большинстве случаев, определение величин в той или иной системе координат и высот, связанной с земной поверхностью.

Измерения однородных величин могут быть выполнены с одной и той же точностью, тогда о них говорят как о *равноточных измерениях*. Если измерения однородных величин осуществлены с разной точностью, то такие измерения являются *неравноточными*.

ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЙ

Ошибки измерений изучаются теорией ошибок, основные положения которой излагаются далее. Более подробные сведения можно найти в специальной литературе. Любые измерения, в том числе геодезические, всегда сопровождаются теми или иными ошибками; выполнение измерений без ошибок невозможно в принципе, что является свойством реального мира. Однако само понятие «ошибка» несколько размыто, поэтому дальше для определенности будем говорить об истинных ошибках. При этом под истинной ошибкой Δ некоторого измерения понимается разность

$$A = x - X, (2.1)$$

между результатом измерения x и фактическим, *истинным*, значением X измеряемой величины, которое, как правило, неизвестно. Таким образом, истинные ошибки (2.1) также неизвестны. Наличие неизвестных ошибок неизбежно вызывает вопрос о достоверности выполненных измерений, о величине ошибок, о степени доверия полученным результатам измерений. В геодезии вопросам оценки результатов измерений всегда уделялось самое большое внимание. Несколько гиперболизируя, можно сказать, что вся история развития геодезии есть история борьбы с ошибками измерений, совершенствования приборов и методов измерения.

Ошибки геодезических измерений подразделяются прежде всего по закономерностям их возникновения на грубые, систематические и случайные ошибки.

Грубые ошибки, или промахи, могут достигать больших значений и вызываются чаще всего неопытностью или невнимательностью исполнителя (например, при измерении горизонтального угла был допущен грубый просчет, и ошибка отсчитывания по угломерному кругу составила 100°), реже — непригодностью используемых приборов или крайне неблагоприятными погодными условиями (работа в условиях плохой видимости — тумана, работа с электронными приборами в условиях радиопомех и т.п.). Основным методом борьбы с грубыми ошибками служат повторные измерения, поскольку крайне маловероятно, что будет допущена точно такая же ошибка [51].

Систематические ошибки — ошибки, имеющие постоянный знак и величину, которая может быть представлена в виде некоторой функции от одного или нескольких факторов. Знание законов образования систематических ошибок позволяет учитывать их путем ввода соответствующих поправок в результаты измерений, но незнание систематических ошибок, когда измерения выполняются в предположении их отсутствия, приводит к плохим результатам. Оценка точности результатов измерений при этом оказывается завышенной, так как систематические ошибки обладают свойством повторяться и накапливаться. Многократные измерения теми же приборами и по тем же методикам не позволяют выявить систематические ошибки, а только подтверждают полученные ранее результаты измерений, создавая ложное впечатление об их высокой точности. Один из способов борьбы с систематическими ошибками (не всегда возможный) — разработка и применение методик измерений, при которых систематические ошибки исключаются или компенсируются.

Случайные ошибки — ошибки измерений, проявляющиеся только при многократных измерениях одной и той же величины. Источниками случайных ошибок результатов измерений являются малые по величине случайные ошибки исполнителя, незначительные изменения внешних условий, незначительные ошибки используемых приборов. Каждое измерение можно рассматривать как некоторый физический опыт. Воссоздать с абсолютной, идеальной точностью одни и те же условия при повторном проведении измерения (другого опыта) не представляется возможным. Каждый раз условия хоть и на ничтожную величину, но будут отличаться от условий предыдущего опыта. (Можно напомнить слова древнегреческого философа Гераклита о том, что нельзя дважды войти в одну и ту же реку.) Суммарное влияние незначительно изменившихся условий (каждого из нескольких факторов) на конечный результат опыта может оказаться вполне ощутимым.

Например, если несколько раз измеряется расстояние, которое меньше длины используемой рулетки, то при этом возможно, что каждый раз натяжение рулетки выполняется с различным усилием (вследствие чего ее длина несколько изменяется случайным образом), изменяется температура

окружающего воздуха, а следовательно, и температура рулетки, что опять-таки ведет к изменению ее длины. Кроме того, каждый раз совмещение начального штриха рулетки с начальной точкой измеряемого расстояния сопровождается случайной ошибкой, так же как со случайной ошибкой выполняется отсчет по рулетке.

Однако если фактическая длина рулетки существенно отличается от номинального значения, то эта систематическая ошибка будет повторяться от одного измерения к другому. Таким образом, принципиальное отличие случайных ошибок от систематических ошибок состоит в том, что случайные ошибки изменяются от измерения к измерению, тогда как систематические ошибки имеют одно и то же значение, «воспроизводятся» при каждом повторном измерении. При выполнении геодезических измерений результат измерения содержит, как правило, и систематические, и случайные ошибки.

Случайные ошибки представляют собой разновидность случайных величин, свойства которых изучаются теорией вероятностей. Как случайные величины случайные ошибки измерений подчиняются некоторому *закону распределения* случайных величин, в частности, наиболее часто ошибки измерений распределяются по нормальному закону, являющемуся предельным законом теории вероятностей. Отсюда следуют следующие свойства случайных ошибок измерений:

- 1) положительные и отрицательные значения случайных ошибок измерений равновероятны;
- 2) малые по абсолютной величине случайные ошибки более вероятны, чем большие;
- 3) среднее арифметическое из значений случайных ошибок при неограниченном возрастании числа измерений стремится к нулю, из чего следует основной способ ослабления влияния случайных ошибок на результаты измерений — увеличение числа измерений;
- 4) случайные ошибки измерений с заданной вероятностью P не превосходят соответствующего предела. При производстве геодезических измерений в качестве таких пределов чаще всего используется значение $2m$ или $3m$, где m — значение среднеквадратической ошибки (объясняется далее) однократного измерения величины. Если пределом служит значение $2m$, то погрешность измерения не превысит указанного значения с вероятностью $P = 0,954$ (т.е. только в четырех—пяти случаях из 100 ошибка измерений превысит заданный предел); если же предел принят равным $3m$, то соответствующая вероятность составляет 0,997 (предел будет превышен примерно в трех случаях из 1000).

Измерения некоторых величин могут характеризоваться одним и тем же абсолютным значением ошибки измерений, но точность измерений при этом может существенно различаться. Например, если с ошибкой 1 см было измерено расстояние 10 м, и с такой же ошибкой измерена линия длиной 1000

м, то очевидно, что во втором случае точность выполненных измерений, а также их трудоемкость намного превышают точность и трудоемкость измерений в первом случае. Таким образом, значение абсолютной ошибки Δ

$$\Delta = x - X,$$

т.е. разности между результатом измерения x и фактическим значением X измеряемой величины, иногда характеризует точность измерений не в полной мере. (Следует обратить внимание на различие понятий «абсолютная ошибка» и «абсолютное значение ошибки».) В соответствии с этим для оценки точности некоторых величин применяется относительная ошибка δ — отношение абсолютного значения ошибки Δ измерения к среднему значению M измеренной величины:

$$\delta = \frac{|\Delta|}{M}. \quad (2.2)$$

Как правило, с помощью относительных ошибок в геодезии принято характеризовать измерения линейных величин (расстояний и их частных случаев — длины, ширины, диаметра, высоты и т.д.) и площадей. Относительную ошибку принято представлять обычно в виде *аликвотной дроби* — дроби, числитель которой равен 1, а знаменатель — некоторое число, т.е. как

$$\delta = 1/N,$$

где $N = M / \Delta$, для приведения (2.2) к требуемому виду необходимо числитель и знаменатель этого выражения разделить на числитель.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Оценка точности измерений может осуществляться с помощью средних, вероятных и среднеквадратических ошибок.

Средняя ошибка $\bar{v}$ есть среднее значение из абсолютных значений случайных ошибок:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |v_i|$$

где n — число выполненных измерений.

Вероятная ошибка σ представляет собой значение случайной ошибки, для которого появление ошибок с меньшей и большей абсолютной величиной характеризуется равной вероятностью. Число измерений любой величины всегда конечно. Если полученные в результате измерения однородных величин абсолютные ошибки расположить по возрастанию их абсолютных значений, то при нечетном числе измерений средний элемент данной

последовательности есть срединная ошибка u . Если число измерений четно, то срединная ошибка есть среднее из двух средних членов данного набора ошибок. Таким образом, вероятная ошибка представляет собой абстрактное понятие, используемое в теоретических выкладках. Срединная ошибка является характеристикой эмпирических (полученных в результате опыта, измерения) ошибок.

Среднеквадратическая ошибка m выполненных измерений есть величина, определяемая по так называемой *формуле Гаусса*. Однако можно задаться вопросом: «А с какой точностью определяется сама среднеквадратическая ошибка?» Существует формула, устанавливающая надежность определения среднеквадратической ошибки, а именно значение среднеквадратической ошибки m_m среднеквадратической ошибки m :

$$m_m \approx \frac{m}{\sqrt{2n}}. \quad (2.5)$$

Хотя между среднеквадратической ошибкой и ранее названными средней ошибкой (2.3) и вероятной ошибкой g существуют приближенные соотношения

$$m \sim 1,25V; m \sim 1,48g,$$

точность геодезических измерений обычно характеризуется среднеквадратической ошибкой, так как:

- 1) большие по абсолютной величине ошибки оказывают на ее значение более осязательное влияние;
- 2) она характеризуется устойчивостью, что означает надежное ее вычисление даже при небольшом числе измерений.

При оценке точности геодезических измерений выражение (2.5) используется сравнительно редко.

Технические допуски, устанавливаемые для геодезических измерений, основываются на среднеквадратической ошибке (2.4). При этом для теоретических расчетов *предельное значение* $T_{\text{пред}}$ среднеквадратической ошибки принимается равным

$$T_{\text{пред}} = 3m, \quad (2.6)$$

а для практических вычислений ввиду малого числа измерений в качестве допуска используют значение

$$m_{\text{пред}} = 2/u. \quad (2.7)$$

В приведенных формулах фигурировали истинные ошибки A , но они за редкими исключениями неизвестны, поэтому для прак-

тических вычислений вводится понятие «вероятнейшая ошибка». Вероятнейшая ошибка v отдельного измерения есть разность между результатом данного измерения и средним арифметическим значением величины, т.е.

$$V = X - x, \quad (2.8)$$

где x — среднее значение из n измерений.

Последние формулы (2.6), (2.7) и (2.8) при практической обработке результатов геодезических измерений употребляются наиболее часто. Следует обратить внимание на различие между определением *вероятнейшей ошибки* и данным ранее определением *вероятной ошибки*.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Прямое измерение — это непосредственное измерение некоторой величины, поэтому задача обработки и оценки точности прямых измерений сводится к задаче обработки и оценки точности отдельно взятой измеренной величины вне зависимости от измерений других величин. При этом различают *равноточные* и *неравноточные* измерения [52].

В теории ошибок доказано, что наилучшим значением из набора n значений x_i ($i = 1, \dots, n$) равноточных измерений одной величины является арифметическое среднее x из них, называемое вероятнейшим значением измеренной величины

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2.9)$$

Полученное таким образом среднее (2.9) обладает следующими свойствами:

- 1) сумма вероятнейших ошибок (отклонений результатов измерений от арифметической середины) равна
 - $\sum (x_i - x) = 0. \quad (2.10)$

Равенство (2.10) часто используется для контроля правильности вычисления арифметической середины;

- 2) сумма квадратов вероятнейших ошибок является минимальной

$$\sum (x_i - x)^2 = \min. \quad (2.11)$$

Приведенная ранее формула Гаусса (2.4) для определения среднеквадратической ошибки измерений используется преимущественно при теоретических выводах. Практическая оценка точности выполненных измерений осуществляется по формуле Бесселя

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}, \quad (2.12)$$

где m — среднеквадратическая ошибка одного измерения; v — вероятнейшие ошибки, вычисляемые по формуле (2.8).

Для определения надежности вычисления m используется среднеквадратическая ошибка m_m среднеквадратической ошибки m , вычисляемая как

$$m_m = m / \sqrt{2(n-1)} \quad (2.13)$$

Для определения среднеквадратической ошибки m - арифметической середины служит формула

$$m_{\bar{x}} = \frac{m}{\sqrt{n}}. \quad (2.14)$$

При многократных измерениях некоторой величины интерес представляет обычно не только среднеквадратическая ошибка (2.12) отдельного измерения, но и ошибка конечного результата — ошибка арифметической середины (2.14). Из данных формул следует, что при низкой точности отдельного измерения необходимая точность измеряемой величины может быть достигнута путем увеличения числа ее измерений.

Для характеристики неравноточных измерений и их сравнения вводится понятие «вес измерения». Весом измерения p называют величину

$$p_i = \frac{c^2}{m_i^2}, \quad (2.15)$$

где константа c — некоторый коэффициент пропорциональности; m_i — среднеквадратическая ошибка i -го измерения.

Таким образом, вес измерения (2.15) есть величина, обратная среднеквадратической ошибке этого измерения, и веса измерений — величины относительные, зависящие от выбора константы c .

Если некоторая величина была многократно измерена с различной точностью (например, приборами различной точности), то, с одной стороны, мы имеем ряд измерений

$$x_1, x_2, \dots, x_n$$

а с другой — ряд их весов

$$p_1, p_2, \dots, p_n$$

В случае неравноточных измерений вычисление вероятнейшего значения x измеренной величины, которое называют общей арифметической серединой, или средневесовым значением, производится по формуле

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n p_i x_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (2.16)$$

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1$$

Вероятнейшие ошибки при этом характеризуются такими свойствами:

$$\sum_{i=1}^n p_i x_i^2 = \min$$

$x = \frac{\sum_{i=1}^n p_i x_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$	(2.17)
$\sum_{i=1}^n p_i = 1$	
$x_A = \text{ПИП.}$	(2.18)
$\sum_{i=1}^n p_i = 1$	

Приведенная ранее формула (2.9) для вычисления арифметического среднего из множества равноточных измерений является частным случаем последних формул, когда все веса равны 1.

Иногда веса выбирают таким образом, чтобы их сумма была равна 1:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1, \quad p_i = \frac{1}{n} \quad (2.19)$$

при этом их называют весами, приведенными к единице, в результате чего выражение (2.16) для вычисления вероятнейшего значения упрощается:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i p_i. \quad (2.20)$$

Среднеквадратическая ошибка m - общей арифметической середины $\bar{x}$, вычисляемой по формуле (2.20), может быть определена из выражения

$$m_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n p_i v_i^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n p_i}}, \quad (2.21)$$

где V_i — вероятнейшие ошибки измерения.

Если известны истинные ошибки измерений, то применима формула Гаусса для неравноточных измерений

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n p_i \Delta_i^2}{n}}, \quad (2.22)$$

где $|1$ — так называемая ошибка единицы веса — среднеквадратическая ошибка измерения, вес которого принят за единицу. Ошибка общей арифметической середины (2.21) и ошибка единицы веса (2.22) служат основными характеристиками точности неравноточных измерений.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ НЕПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Непрямое измерение — результат вычисления некоторой величины (функции) по результатам измерений других величин, являющихся аргументами данной функции. Таким образом, задача оценки точности непрямого измерения сводится к задаче оценки точности функции по результатам оценки точности ее аргументов — результатов прямых измерений. Оценка точности прямых измерений была рассмотрена ранее.

Если существует n независимых источников ошибок непрямого измерения некоторой величины и среднеквадратическая ошибка m_i каждого из этих факторов известна, то для нахождения среднеквадратической ошибки m измеренной величины используется выражение

$$m = m_i \cdot (2.23)$$

Данная формула служит основой для оценки точности величины, являющейся функцией одного или нескольких аргументов — результатов измерений

$$Y = /(*, \dots, x_n).$$

Простейшим примером может служить оценка точности площади прямоугольника по известным среднеквадратическим ошибкам измерения его длины и ширины. Ошибки измерений являются малыми величинами, поэтому с известной степенью огрубления могут быть приняты за бесконечно малые приращения (дифференциалы) функций и их аргументов. На этом основании можно получить общую формулу, которую здесь приведем без вывода:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 m_i^2}. \quad (2.24)$$

Продолжим рассмотрение последнего примера и выполним оценку точности вычисления площади S прямоугольника по значениям его длины l и ширины b :

$$S = lb.$$

Пусть длина прямоугольника $l = 100,00$ м была измерена со среднеквадратической ошибкой $m_l = 0,04$ м, а ширина $b = 40,00$ м — с ошибкой $m_b = 0,01$ м, тогда вычисление среднеквадратической ошибки площади может быть выполнено по формуле

$$m_S = \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial l} \right)^2 m_l^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial b} \right)^2 m_b^2} = \sqrt{b^2 m_l^2 + l^2 m_b^2}.$$

Подставив значения измеренных величин и их ошибок в данную формулу, находим, что

$$m_S = \sqrt{1600 \cdot 0,0016 + 10\,000 \cdot 0,0001} = 1,9 \text{ м}^2.$$

Относительная ошибка площади при этом составляет величину, выражаемую аликвотной дробью

$$\frac{1,9}{5\,400} \approx \frac{1}{2100}.$$

Выражение (2.23) является частным случаем соотношения (2.24), когда все частные производные равны 1.

ОШИБКИ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Вычисления в геодезии в своей массе являются приближенными, поскольку при их выполнении используются приближенные числа. Приближенное число — это число, отличающееся от точного (истинного) значения величины на некоторую ошибку (погрешность), величина которой не превышает установленного допуска, и заменяющее неизвестное истинное значение при вычислениях. Данное определение неявным образом исключает из рассмотрения значения величин, содержащие недопустимые значения ошибок и называемые *грубыми измерениями*.

При выполнении приближенных вычислений их результаты отличаются от истинных значений определяемых неизвестных. Источниками приближенных чисел служат:

- 1) приближенные результаты измерений;
- 2) приближенные значения некоторых констант (например, значение скорости света в вакууме или гравитационной константы);
- 3) использование приближенных формул, методов, математических моделей;
- 4) ошибки представления чисел;
- 5) ошибки округления чисел, возникающие в процессе самих вычислений.

В соответствии с этим при выполнении вычислений важно отдавать отчет как о требуемой точности получаемых результатов, так и об их фактической точности. При этом нельзя допускать ни недооценки точности приближенных вычислений, ни ее переоценки, необоснованного преуменьшения получаемых ошибок.

Необходимо различать ошибки измерения и ошибки округления. Например, если в процессе измерений берутся отсчеты по некоторой шкале и доли ее наименьшего деления оцениваются на глаз, то это будет ошибка измерения. Если полученный отсчет при этом фиксируется с точностью до одного наименьшего деления, то это уже ошибка округления.

Распределение ошибок измерений в большинстве случаев подчиняется *нормальному закону*, ошибки округления также являются случайными, но распределяются по *равновероятному закону*.

Ошибки измерений, приближенные константы и приближенные формулы не нуждаются в пояснениях. Вычисления на электронных устройствах, как и на бумаге, всегда связаны с представлением результатов измерения и вычислений в виде последовательности символов (цифр). При этом числа представляются в той или иной системе счисления, и точное представление не всегда возможно. Так, дробь $1/3$ не может быть точно представлена десятичной дробью, поскольку это будет $0,3(3)$, где (3) означает три в периоде — бесконечное повторение числа 3. Кроме того, ошибки представления возникают при переводе чисел из одной системы счисления в другую. При этом целые числа в любой системе счисления представляются точно, но при представлении дробных чисел могут появляться ошибки округления. Например, десятичное число $0,3$ не может быть точно представлено в двоичной системе счисления, используемой в компьютерах.

Точность представления исходных данных (результатов прямых измерений), констант и полученных промежуточных и окончательных результатов вычислений зависит от длины используемой в ЭВМ последовательности символов — количества цифр, но при этом точность представления числа определяется только (!) числом значащих цифр. *Значащими цифрами* в представлении числа являются все цифры

включительно от первой слева отличной от нуля цифры до самой правой цифры, имеющей ошибку не более единицы. Например, число 123,456 представлено с ошибкой не более 0,0005, число значащих цифр в его представлении равно 6. Число 1,2345 представлено с ошибкой не более 0,00005, число значащих цифр равно 5. Иногда в целях сохранения точности вычислений после последней значащей цифры в промежуточных результатах сохраняют еще 1—2 цифры, называемые *сомнительными*. Сомнительные цифры при написании числа дают более мелким кеглем, например, 12,345.

Помимо измерений требуемой точности и корректных вычислений их конечные результаты необходимо правильно представлять, т.е. записывать, сохраняя только значащие цифры. Неправильная запись числа может явиться причиной неправильного понимания и, как следствие, — формирования неадекватных представлений о его точности у получателя информации. Пусть, например, была измерена линия длиной 100 м. Результат измерений может быть записан как 100 м, или 100,0, или 100,00, или даже как 100,000. Первая запись говорит о том, что расстояние известно с точностью до 1 м, вторая — о том, что расстояние известно с точностью до 0,1 м, а последняя является свидетельством того, что данное расстояние определено с ошибкой не более 1 мм. Как видим, различие в точности является весьма существенным. Если упомянутое расстояние было измерено с точностью до 1 см, то результат должен быть представлен только как 100,00. Дописывание в данном случае нулей справа или, наоборот, удаление значащих цифр являлось бы ошибкой (!). Таким образом, корректный способ записи приближенных чисел одновременно характеризует их точность.

В повседневной практике данное правило часто не соблюдается, когда справа дописывается некоторое число нулей. Например, можно встретить утверждение, что численность населения России составляет около 140 000 000 человек. Такая запись, конечно, не означает, что численность населения России известна с точностью до 1 человека. В подобных случаях корректная запись приближенного числа имеет вид $140 \cdot 10^6$, либо необходимо менять единицы измерения, например 140 млн человек, но если в повседневной жизни с подобными фактами еще можно мириться, то в технической сфере они крайне нежелательны. Технические специалисты должны правильно представлять количественные данные и правильно понимать записи, сделанные другими специалистами [53].

Округление чисел осуществляется таким образом, чтобы ошибка округления была минимальна. Если отбрасываемые при округлении цифры меньше 0,5 единицы последней значащей цифры, то число берется с *недостатком*, т.е. берется ближайшая меньшая по абсолютной величине значащая цифра. Если отбрасываемые цифры более 0,5 последней значащей цифры, то число берется с *избытком*, т.е. берется ближайшая большая по абсолютной величине значащая цифра. Если отбрасываемая цифра равна точно 5, то округление выполняется *по правилу Гаусса*, или *правилу четной*

цифры. в качестве округленного значения берут ближайшую четную цифру. Примеры применения этих правил приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Пример округления чисел

Точное значение	9,876543	9,87654	9,8765	9,8755	9,876	9,87	9,8
Результат округления	9,87654	9,8765	9,876	9,876	9,88	9,9	10

Правило Гаусса основано на равной вероятности четных и нечетных цифр: отбрасываемая цифра 5 с равной вероятностью может стоять как после четной, так и после нечетной цифры, поэтому в одних случаях округление будет осуществляться с недостатком, в других — с избытком, в результате чего ошибки округления будут в определенной степени компенсироваться, например, при сложении чисел.

Наиболее распространенная ошибка при округлении чисел заключается в том, что значащие нули справа отбрасываются. Например, требуется округлить число 0,123004 с точностью 0,00001. Таким значением будет 0,12300. Отбрасывание нулей справа, т.е. запись в виде 0,123, в данном случае явилось бы ошибкой, поскольку точность такого представления составляет 0,001, а не 0,00001 как требовалось.

Таким образом, ошибки округления не превышают половины единицы последней значащей цифры. При этом чем больше значащих цифр в представлении числа, тем меньше относительная ошибка.

Рассмотрим, например, два числа — 123 456,7 и 0,0000012. Хотя абсолютная ошибка округления первого из них не больше 0,05, а такая же ошибка второго не более 0,00000005, первое число более точное, поскольку его относительная ошибка равна $\sim 1:2\,500\,000$, относительная ошибка второго составляет 1:24.

Чтобы определить относительную ошибку округления некоторого числа, нужно представить ее в виде дроби, числитель которой равен 0,5, а в знаменателе находятся все значащие цифры, записанные как целое число. Отсюда следует, что ее представление в виде аликвотной дроби будет иметь вид

1 где 1—1 — все значащие цифры числа.

Например, дано число 654,321; его относительная ошибка округления не превысит значения

$$\bullet \quad 1 \sim 1.2 \cdot 654\,321 \sim 1\,308\,642'$$

Поскольку вычисления являются приближенными, в знаменателе относительной ошибки принято указывать первые 2—3 значащие цифры, остальные заменяются нулями. Например, последнее значение можно записать как

$$1\,310\,000'$$

Оценка точности результатов вычислений может быть сведена к общему правилу: точность операций сложения и вычитания чисел оценивается по числу десятичных знаков, а операций умножения, деления, возведения в степень и извлечения корня — по числу значащих цифр.

Точность суммы и разности приближенных чисел. Если дана сумма или разность приближенных чисел

$$y = x_1 \pm x_2 \pm \dots \pm x_n,$$

то предельная ошибка $\Delta y_{\text{пред}}$ результата вычислений характеризуется свойством

$$\Delta y_{\text{пред}} \leq \sum_{i=1}^n |\Delta x_i|, \quad (2.25)$$

где Δx_i — ошибки слагаемых, т.е. абсолютное значение предельной ошибки суммы или разности не превышает суммы абсолютных значений ошибок слагаемых. С другой стороны, предельная ошибка суммы не может быть меньше предельной ошибки слагаемого, имеющего наименьшее число десятичных знаков. Отсюда следует, что нет никакого смысла в записи суммы сохранять десятичных знаков больше, чем их имеется в слагаемом с наименьшим числом десятичных знаков.

Особого внимания требует операция вычитания, когда значения уменьшаемого и вычитаемого близки между собой, так как при этом происходит скачкообразное увеличение относительной ошибки их разности, тогда как соотношение (2.25) характеризует абсолютную ошибку разности и ничего не утверждает о ее относительной ошибке.

Пусть, например, дано константное выражение $100 / (101 - 99)$. Результат его вычисления дает 50. Теперь предположим, что уменьшаемое содержит ошибку 0,5 и его фактическое значение равно

101,5, т.е. его относительная ошибка составляет $\sim 1:200$. Если в первоначальном выражении 101 заменить на 101,5, то результат вычислений будет равен 40. Таким образом, относительная ошибка приближенного значения составила $1/4$. Для предотвращения подобных эффектов рекомендуется в уменьшаемом и вычитаемом удерживать больше значащих цифр либо применять другие формулы.

Точность произведения и деления чисел. При умножении и делении приближенных чисел необходимо в результате сохранять столько значащих цифр, сколько их имеется в числе с наименьшим числом значащих цифр; в промежуточных результатах рекомендуется удерживать 1—2 сомнительные цифры.

Допустим, требуется вычислить значение выражения $y = xy / I$. При $x = 100,000$, $y = 0,500$ и $I = 5,000$ исходные данные представлены с одним и тем же числом десятичных знаков, но с разным числом значащих цифр. Их наименьшее число равно 3 (в значении переменной y). Кажется логичным представить результат вычислений ($m = 10,000$) с тремя десятичными знаками, но такое предположение не соответствует реальности. Чтобы удостовериться в этом, увеличим число с наименьшей точностью (значение переменной y) на величину его погрешности округления, т.е. на 0,0005. Тогда в результате получим $y = 10,01$. Таким образом, верными оказались только три цифры в представлении результата, что и требовалось показать, поэтому правильной будет запись результата как $ж = 10,0$.

Точность степени и корня. При возведении приближенного числа в квадрат (частный случай умножения) число значащих цифр в результате равно их числу в основании степени. Относительная ошибка степени равна относительной ошибке основания степени, умноженной на показатель степени. При извлечении квадратного корня число значащих цифр в результате равно числу значащих цифр в подкоренном числе. Относительная ошибка корня n -й степени в n раз меньше относительной ошибки подкоренного выражения.

Точность произвольной функции. Пусть дана функция одной переменной $Y = f(x)$. (2.26)

Для определения абсолютной ошибки данной функции выполним ее дифференцирование и заменим дифференциалы значениями ошибок

$$\Delta Y = f'(x) \Delta x, \quad (2.27)$$

тогда, разделив (2.27) на (2.26), относительную ошибку функции y можно представить выражением

$$\Delta Y / Y = f'(x) \Delta x / f(x). \quad (2.28)$$

Если дана функция n независимых переменных

$$y = f(x_1, \dots, x_n),$$

то ее предельная абсолютная ошибка может быть представлена выражением

$$\Delta y$$

$$\leq \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right|. \quad (2.29)$$

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ТЕОРИИ ОШИБОК

Ранее была рассмотрена ситуация, когда требуется выполнить оценку точности некоторой функции по известным ошибкам ее аргументов. Данная задача известна как *прямая задача* теории ошибок. Иногда встречается обратная задача теории ошибок: по заданной ошибке функции требуется определить ошибки ее аргументов. В результате возникает одно уравнение с n неизвестными, что допускает бесконечное множество решений. Для однозначного решения поставленной задачи требуется хотя бы одно дополнительное условие. В качестве такого дополнительного условия наибольшей популярностью пользуется принцип равного влияния, когда предполагается, что все частные дифференциалы одинаковым образом влияют на точность функции, т.е. существует равенство

$$\left| \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 \right| = \dots = \left| \frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n \right|. \quad (2.30)$$

Число таких дифференциалов равно n , следовательно, вклад одного аргумента в абсолютную ошибку функции будет равен

$$\left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right| = \frac{1}{n} \Delta y. \quad (2.31)$$

Отсюда следует, что абсолютная ошибка измерения конкретной величины — аргумента функции — должна быть равной

$$\Delta x_i = \frac{1}{n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|} \Delta y. \quad (2.32)$$

Полученные формулы (2.28) и (2.29) и последние выражения (2.30), (2.31), (2.32) используются преимущественно при предварительных расчетах необходимой точности вычислений и определения некоторой величины — функции других измеряемых величин, когда предельная ошибка самой

функции известна и требуется определить, с какой точностью следует выполнять прямые измерения величин — ее аргументов [52].

МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

Теория ошибок измерений рассматривает вопросы оценки точности измерений одной величины. В геодезических построениях измеряется множество величин, которые связаны между собой разнообразными зависимостями. Например, в треугольниках измеряются обычно все три угла (для контроля). Хотя ошибки измерений при этом независимы друг от друга, между измеренными величинами существует зависимость: сумма углов, называемая *теоретической*, должна быть равна 180° . Сумма измеренных углов в треугольнике будет, как правило, отличаться от теоретической суммы. Таким образом, возникает противоречие между результатами измерений и теоретическими соотношениями, которое не имеет права на существование и должно быть устранено. Устранить данное противоречие можно самыми различными способами путем ввода поправок в результаты измерений. Так, например, существует бесконечное число вариантов исправления трех измеренных углов в треугольнике таким образом, что их сумма даст 180° .

В результате возникает задача нахождения наилучшего в том или ином смысле метода распределения поправок в измеренные измерения. Таким методом является предложенный К.Ф. Гауссом метод наименьших квадратов (МНК), первоначально разработанный для обработки результатов астрономических и геодезических измерений, а позднее получивший самое широкое применение при обработке численных результатов любых экспериментов. МНК основан на требовании минимизации суммы квадратов вводимых поправок, что и дало название самому методу.

Рассмотрим предпосылки применения метода наименьших квадратов более подробно. Пусть с некоторой целью было измерено n величин. Истинные значения этих величин $X_1, X_2, \dots, X_n$ неизвестны, но они представлены результатами измерений $x_1, x_2, \dots, x_n$ с весами соответственно p_1, p_2, p_n . Сверх необходимых измерений в геодезических построениях всегда выполняются избыточные измерения, так как только в этом случае появляется возможность оценки выполненных измерений, поэтому измеренные величины будут связаны между собой уравнениями

$$f(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0 \quad (2.33)$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

число которых равно m — числу избыточных измерений. Здесь имеются в виду только *независимые* уравнения; фактическое число уравнений может быть больше, но часть из их числа при этом будут зависимыми. Если в данную систему уравнений подставить измеренные значения величин, то вследствие ошибок измерений данные равенства выполняться не будут, в их правой части вместо нулей будут некоторые числа, т.е.

$$X_1, \dots, x_n) = \Pi$$

$$\dots$$

$$/ \ll (*! > \wedge 2' x_n) \sim K(2.34)$$

Уравнения вида (2.33) или (2.34) называются *условными уравнениями*. Система условных уравнений всегда является *неопределенной*, так как n — общее число измерений (и неизвестных поправок) всегда меньше m — числа избыточных измерений (и условных уравнений).

Чтобы выполнялись условия (2.33), в результаты измерений необходимо ввести поправки $x, + y, \dots$, их число равно числу неизвестных. Исправленные измерения $x_1 + y_1$ называют *уравненными значениями* измеренных величин, чья особенность состоит в том, что при их подстановке в условные уравнения в правой части последних будут нули:

$$\{x + y_1, x_2 + y_2, \dots, x_n + y_n\} = 0$$

$$>$$

$$\dots$$

$$/_{,,}(* 1 + \text{Ч}, x_2 + y_2, \dots, x_n + y_n) = 0$$

Поскольку число неизвестных — поправок измеренных величин — больше числа уравнений, вследствие чего возникает неоднозначность решения задачи отыскания поправок в измеренные величины, постольку возникает вопрос выбора дополнительного условия, обеспечивающего как однозначность решения, так и получение «наилучших» значений поправок. Доказано, что если в качестве критерия оптимальности выбрать условие

$$Xa-y? = m/n \wedge /=1$$

то множество поправок будет достаточно близко в вероятностном смысле к множеству абсолютных ошибок измерений. Названное условие и является принципом наименьших квадратов, который формулируется следующим образом: сумма произведений квадратов поправок на их веса должна быть минимальна.

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ

КАРТА, ПЛАН, ПРОФИЛЬ

Карты и планы — аналоговые модели земной поверхности и наиболее удобный способ представления информации о географическом пространстве (геопространстве), если ее получателем является человек. Такое представление настолько удобно, что иногда говорят о присущем человеку *инстинкте картографирования*. Карты и планы используются для изучения земной поверхности, для ориентирования на местности. Немаловажное преимущество их использования состоит в том, что достаточно трудоемкие, а иногда и невозможные измерения на земной поверхности можно заменить измерениями на чертеже [48].

План — чертеж, представляющий в обобщенном и уменьшенном виде проекцию ограниченного участка земной поверхности на горизонтальную плоскость. Планы создаются в крупных масштабах и на небольшие участки

земной поверхности. Если размеры отображаемой на них территории не превышают примерно 20 x 20 км, то искажения углов, расстояний и площадей весьма незначительны и ими можно пренебречь без какого-либо ущерба для точности.

Для изображения больших участков земной поверхности используются карты более мелких масштабов. Вследствие кривизны земной поверхности ее изображение на картах, т.е. на плоскости, сопровождается заметными искажениями геометрических величин.

Карта — чертеж, содержащий обобщенное отображение земной поверхности на плоскости по некоторому математическому закону. Для получения картографического изображения вначале осуществляется проектирование точек реальной земной поверхности на сферу или эллипсоид, а затем последние проектируются на плоскость либо на цилиндр или конус, после чего осуществляется их разворачивание. Изображение значительных участков земной поверхности неизбежно сопровождается искажениями расстояний, углов и площадей, величина которых возрастает с увеличением отображаемой на карте поверхности.

Математический закон, по которому каждой точке земной поверхности ставится в соответствие точка на карте (плоскости), называется картографической проекцией. Разработкой конкретных картографических проекций и их исследованиями занимается *математическая картография*. Для удобства на картографическом изображении воспроизводится не только сетка прямоугольных координат, но и сетка географических координат (широты и долготы), называемая *картографической сеткой*.

Различные проекции характеризуются различными искажениями; в одних случаях больше искажаются углы, в других — расстояния и площади. Искажения также зависят от размеров отображаемой территории, ее формы и ориентации. Выбор картографической проекции зависит от задач, для решения которых создается та или иная карта. По характеру искажений картографические проекции подразделяются на два основных класса — равноугольные и равновеликие. В *равноугольных*, или *конформных*, проекциях сохраняется подобие бесконечно малых фигур на земной поверхности и на карте, в *равновеликих проекциях* сохраняется пропорциональность площадей. Еще один класс составляют *произвольные проекции*, в которых не сохраняется ни подобие бесконечно малых фигур, ни пропорциональность площадей [49].

По своему назначению и содержанию карты подразделяются на топографические, географические, геологические, экологические, навигационные, туристические, политические, административные и т.п. Топографические карты служат основой для создания карт всех прочих видов, они создаются по принципу «немного о многом», тогда как все прочие — по принципу «много о немногом». Это означает, что часть нагрузки топографических карт удаляется как не представляющая интереса для

определенной категории пользователей, но некоторые типы объектов характеризуются более подробно, с большей детализацией их свойств.

По степени уменьшения размеров объектов на чертеже относительно их фактических размеров на местности планы и карты делят на *крупномасштабные, среднемасштабные и мелкомасштабные*.

Топографические карты и планы содержат изображение *ситуации* (множества дискретных объектов, находящихся на, над и под земной поверхностью: зданий и сооружений, элементов гидрографии, дорожной сети, инженерных коммуникаций и т.п.) и *рельефа*. Наряду с топографическими планами в строительстве используются *ситуационные (контурные)* планы, представляющие собой топографические планы, на которых значительная часть нагрузки удалена и оставлены изображения только наиболее крупных и значимых географических объектов.

Топографические планы создаются в масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000 и 1:10 000. Планы более крупных масштабов (1:200, 1:100) называют *специальными планами*, они создаются для нужд проектирования и строительства особо сложных инженерных сооружений.

Топографические карты крупных масштабов создаются в масштабах 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000 и 1:100 000, средних масштабов — 1:200 000 и 1:500 000, мелких масштабов — 1:1 000 000. Карты более мелких масштабов называют *географическими*.

При проектировании и строительстве протяженных объектов (автомобильных и железных дорог, водных каналов, инженерных коммуникаций, линий электропередачи и т.п.) наряду с планами широко используются профили. Профиль представляет собой чертеж, содержащий уменьшенное изображение сечения земной поверхности вертикальной плоскостью. Для наглядности профили обычно создаются таким образом, что вертикальный масштаб в 10 раз крупнее, чем горизонтальный масштаб. Например, если горизонтальный масштаб равен 1:2000, то вертикальный масштаб, как правило, принимают равным 1:200.

МАСШТАБ

Наиболее важным свойством карт, планов и профилей земной поверхности является масштаб, служащий характеристикой степени уменьшения изображений объектов на чертеже по сравнению с их реальными размерами на земной поверхности. Масштабом плана называют отношение длины 5 отрезка на плане к длине 5 горизонтального проложения соответствующей линии на местности:

$$\frac{1}{M} = \frac{5}{5'}$$

где M — знаменатель масштаба.

Проекцию линии на горизонтальную плоскость называют горизонтальным положением. Если масштаб некоторого плана равен 1:М, то это означает, что любому отрезку 5 на плане соответствует М таких отрезков на местности. Масштаб тем крупнее, чем больше дробь 1/М.

По *форме представления* масштабы подразделяются на вербальный, численный, линейный и поперечный. *Вербальное представление* масштаба означает его указание в текстовом виде, например «в одном см 2 км». *Численный масштаб* представляется в виде аликвотной дроби, числитель которой всегда равен 1, а знаменатель — некоторое целое число — *знаменатель масштаба*. Примеры численных масштабов — 1:500, 1:2000. *Линейный масштаб* (рис.1, а) представляет собой отрезок прямой, разделенный на несколько

равных частей, называемых *основаниями*. Длина основания обычно равна 2 см. Следовательно, основание линейного масштаба — это его наибольшее деление. Ниже делений указываются расстояния на местности, соответствующие этим делениям. Самое левое основание разбивается на 10 частей. Доли этих частей оцениваются на глаз. Линейный масштаб является наглядным, но не очень точным способом представления масштабов.

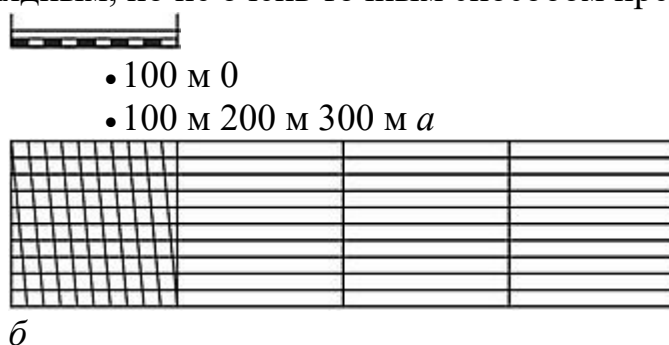


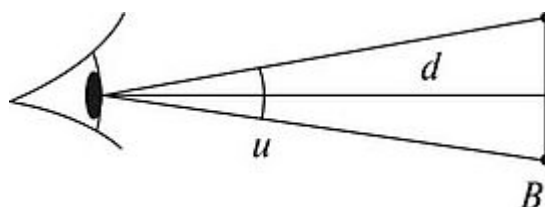
Рис. 16. **Линейный (а) и поперечный (б) масштабы**

Для более точного представления и измерения расстояний на планах и картах используется *поперечный масштаб* (см.рис. 16, б). Если *основание* масштаба равно 2 см, то такой масштаб называют *сотенным* (или *нормальным*) поперечным масштабом. Самое левое основание поперечного масштаба также делится на 10 равных частей. Затем на равном расстоянии от нижней линии (см. рис. 3.1, б) проводят через равные промежутки еще 10 горизонтальных линий, и нулевое деление левого основания на нижней линии соединяют с первым делением на верхней линии, первое — со вторым и т.д. Таким образом, при перемещении вверх на одно деление измеряемое расстояние изменяется на 0,01 основания. Как правило, поперечный масштаб наносится на металлических пластинах, называемых *масштабными линейками*.

Понятие «масштаб карты» более сложное. Прежде всего различают *линейный масштаб* и *масштаб площадей*. (Следует обратить внимание на другую трактовку понятия линейного масштаба по сравнению с приведенной выше, где говорилось о *форме представления* масштабов. Термин «линейный масштаб» является омонимом, т.е. многозначным

термином. В первом случае он указывает на форму представления масштаба, в последнем случае — на отображаемую величину.) *Линейный масштаб карты* остается постоянным, изменяется от точки к точке и, кроме того, в каждой точке зависит от направления, поэтому линейный масштаб карты разделяют на общий масштаб и частный масштаб. *Общий масштаб*, называемый иногда также *главным*, показывает, во сколько раз размеры земного эллипсоида уменьшены на карте. В зарамочном оформлении карты указывается именно общий масштаб карты. *Частным масштабом* в данной точке по заданному направлению называют отношение длины бесконечно малого отрезка на карте к длине соответствующего элементарного отрезка на эллипсоиде или сфере.

Л



Используемая во всем мире для получения топографических карт проекция Гаусса — Крюгера является *конформной*: углы искажаются на малые величины, но искажения длин достигают заметных величин. В частности, на краях шестиградусных зон искажения длин линий достигают значения 1:1250. Для некоторых приложений подобные искажения не могут быть приняты, и тогда при создании топографических карт и планов в проекции Гаусса — Крюгера используют трехградусные зоны.

ТОЧНОСТЬ МАСШТАБА

Важное понятие при использовании карт и планов — «графическая точность». Графическая точность связана с *разрешением* *и* человеческого глаза, которое составляет Γ , т.е. $u = \Gamma$. Это означает, что если угол u между направлениями на две точки *Л* и *В* (рис. 3.2) при рассматривании их человеком с нормальным зрением составляет Γ или более, то они воспринимаются как две точки; если же угол Рис. 3.2. К понятию разрешения меньше Γ , то они воспринимаются ^{глаза} как одна точка.

При рассматривании карты или плана с наилучшего расстояния (примерно $b = 35$ см) и значении $u = \Gamma$ наименьшее расстояние t — графическая точность — между точками *Л* и *В* (см. рис. 3.2), при котором они воспринимаются еще как разные точки, составит

$$1 - u\text{!} - 1/3438 \cdot 350 \text{ мм} = 0,1 \text{ мм},$$

где $1/3438$ значение угла $u = \Gamma$, выраженное в радианах ($3438'$ — число минут в радиане). Полученное значение $0,1$ мм и является *графической точностью* плана или карты.

С понятием «графическая точность» связано понятие «точность масштаба». Точность масштаба — расстояние на земной поверхности, соответствующее $0,1$ мм на карте или плане:

$$T = \Gamma M = 0,1 M \text{ мм},$$

где T — точность масштаба; $\Gamma = 0,1$ мм — графическая точность; M — знаменатель масштаба.

Следовательно, можно дать другое определение: точность масштаба есть графическая точность, выраженная в масштабе плана (карты). Таким образом, графическая точность является константой ($0,1$ мм) для всех масштабов, а точность масштаба изменяется вместе с масштабом и тем выше, чем крупнее масштаб.

МАСШТАБЫ ПЛАНОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Наибольшее применение при проектировании и строительстве гражданских и промышленных объектов получили топографические планы масштабов:

- 1) 1:500 — для сложных объектов;
- 2) 1:1000 — для менее сложных объектов;
- 3) 1:2000 — обычно для планов красных линий (*красной линией* называют границу между кварталом и улицей, за которую на уровне земли в сторону улицы не должны выступать никакие части зданий и сооружений);
- 4) 1:5000 — для протяженных объектов;
- 5) 1:10 000 — в качестве ситуационных (обзорных) планов при выборе вариантов размещения объектов предполагаемого строительства.

Топографические планы используются на всех стадиях проектирования: при разработке технических проектов, рабочих чертежей и генеральных планов.

ПРОЕКЦИЯ ГАУССА — КРЮГЕРА

Для создания топографических карт в пределах всей территории России используются проекция Гаусса — Крюгера и *общегосударственная система координат*, введенные в действие в 1928 г. Построение проекции Гаусса — Крюгера можно пояснить следующим образом. Вся поверхность земного эллипсоида, начиная с Гринвичского меридиана, разбивается на сферические двугульники — зоны шириной 6° по широте (рис. 3.3 и 3.4). Далее каждая зона из центра эллипсоида проектируется на поверхность цилиндра, после чего

цилиндр разрезается по образующей и разворачивается в плоскость. В результате получают картину, представленную на рис. 3.4. В такой проекции средний меридиан каждой отображаемой зоны, называемый осевым меридианом, и дуга экватора изображаются отрезками прямых линий, остальные меридианы и параллели изображаются кривыми.

Счет зон в проекции Гаусса — Крюгера ведется от Гринвича на восток от 1 до 60. Долгота B_0 осевого меридиана зоны связана с ее номером n соотношением $B_n = 6n - 3$.

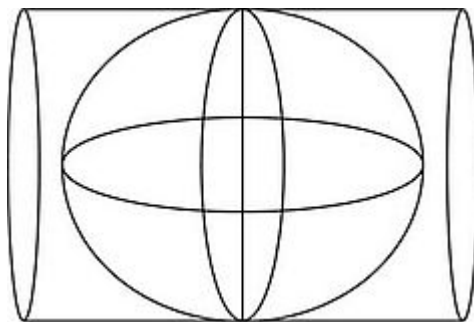


Рис. 17. Проекция Гаусса — Крюгера

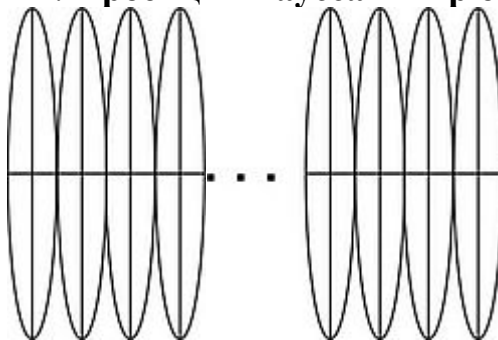


Рис. 18. Зоны в проекции Гаусса — Крюгера (60 зон)

Территория России охватывает зоны с номерами от 4 (долгота осевого меридиана 2°) до 32 (долгота осевого меридиана 189°) включительно, т.е. всего 29 зон. Таким образом, можно заметить, что часть российской территории находится в западном полушарии.

В каждой зоне вводится система плоских прямоугольных координат (рис. 18), начало которой совпадает с точкой пересечения осевого меридиана и экватора. Ось X совпадает с изображением осевого меридиана, положительным направлением оси X считается направление на север, положительным направлением оси Y — направление на восток. Значение X в начале координат принимается равным 0. Значение Y в начале координат принимается равным выражению

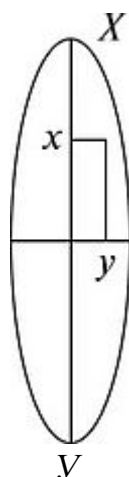


Рис. 19. Координаты в проекции Гаусса — Крюгера

$N \cdot 500\,000 + y$,

где N — номер зоны; 500 000 м — значение, прибавляемое к y , чтобы избавиться от отрицательных значений ординат; y — расстояние от осевого меридиана до заданной точки.

Пусть, например, заданная точка находится в 37-й зоне и ее ордината равна 123 456,78 м, тогда запись ординаты в проекции Гаусса — Крюгера будет представлена значением 37 623 456,78 м.

Значения координат зависят от ориентации эллипсоида внутри тела Земли. Такие работы были закончены в СССР в 1942 г., в связи с чем соответствующая система координат получила название *Системы координат 1942 года* (СК-42). В 1990-х гг. было выполнено уточнение размеров и фигуры эллипсоида и его ориентации в теле Земли, и новая система координат получила название *Система координат 1995 года* (СК-95). Различия между значениями координат в СК-42 и СК-95 возрастают с запада на восток и на северо-востоке России достигают 30 м.

Для представления положения точек в пределах всего земного шара в России принята система координат, называемая *Параметрами Земли 1990 года* (ПЗ-90).

Постановлением Правительства Российской Федерации от 28.12.2012 № 1463 «О единых государственных системах координат» для использования при выполнении геодезических и картографических работ на территории России была установлена *Единая государственная геодезическая система координат 2011 года* (ГСК-2011). При этом использование систем координат СК-42 и СК-95 было ограничено сроком до 1 января 2017 г.

При переходе к любой новой системе координат требуется установить параметры используемого эллипсоида, выполнить перевычисление координат пунктов геодезических сетей в этой системе и установить параметры перехода от новой «единой» системы координат к многочисленным *местным системам координат* (МСК). Поскольку местные системы координат являются плоскими, возникает также необходимость определения параметров картографической проекции. Однако при внедрении ГСК-2011 с решением перечисленных задач возникли определенные затруднения, в связи с чем было

принято решение о разработке новой *Единой системы координат* — ГСК-2018. Подготовка к переходу в данную систему выполнялась до конца 2016 г.

РАЗГРАФКА И НОМЕНКЛАТУРА ПЛАНОВ И КАРТ

Как правило, план или карту даже не очень больших участков земной поверхности нельзя создать на одном листе, поэтому планы и карты обычно являются *многолистными*. Отдельный лист топографической карты представляет собой *съёмочную трапецию* — участок земной поверхности, ограниченный меридианами и параллелями, которые определяются номенклатурой листа [42]. Система разделения плана или карты на отдельные листы (съёмочные трапеции) называется разграфкой. При этом возникает задача обозначения отдельных листов плана или карты. Система обозначений отдельных листов топографических карт и планов называется номенклатурой.

А		Б			
I	II	1	2	3	4
		5	6	7 Г	8
III	13 IV	9	10	• 1 • 11	12
		13	14	15	16

Рис. 20. Номенклатура топографических планов

Топографические планы могут создаваться либо в общегосударственной, либо в местной системе координат. *Общегосударственной* называется система координат, принятая для создания карт и планов любых участков в пределах страны. *Разграфка топографических планов* в местной системе координат прямоугольная и основана на листах планов масштаба 1:5000, отдельные листы которых имеют размеры 40 х 40 см. Каждый лист плана масштаба 1:5000 имеет *порядковый номер*, обозначаемый арабскими цифрами и являющийся номенклатурой листа плана данного масштаба, например 34, 123 и т.п. (рис. 20).

Номенклатура топографических планов более крупных масштабов создается на основе номенклатуры планов масштаба 1:5000 следующим образом. Каждый лист плана масштаба 1:5000 делят на четыре листа масштаба

1:2000, для обозначения которых используют заглавные буквы русского алфавита А, Б, В, Г (см. рис. 3.6). Далее каждый лист масштаба 1:2000 делится на четыре листа масштаба 1:1000, которые обозначаются римскими цифрами от I до IV. Для получения планов масштаба 1:500 каждый лист масштаба 1:2000 делится на 16 листов, для обозначения которых используются арабские цифры от 1 до 16 (см. рис. 3.6). Примеры номенклатуры листов топографических планов: масштаба 1:2000 — 123-Г, масштаба 1:1000 - 123-Г-1У, масштаба 1:500 - 123-Г-16.

Топографические карты издаются только в государственной системе координат. Основой для получения номенклатуры топографических карт служит лист карты масштаба 1:1 000 000, имеющий размеры 6° по широте и 4° по долготе (табл. 3). Обозначение листа карты масштаба 1:1 000 000 осуществляется указанием ряда и колонны. Колонны ограничены меридианами, имеют ширину 6° и нумеруются арабскими цифрами от 1 до 60 от меридиана 180° на восток; ряды ограничены параллелями с разностью широт 4° и обозначаются прописными латинскими буквами от Л до V от экватора к северу и югу (рис. 3.7, 3.8). Например, N-37 (лист карты, на котором находится Ташкент), N-44 (на данном листе расположен Коканд).

Таблица 3.

оо

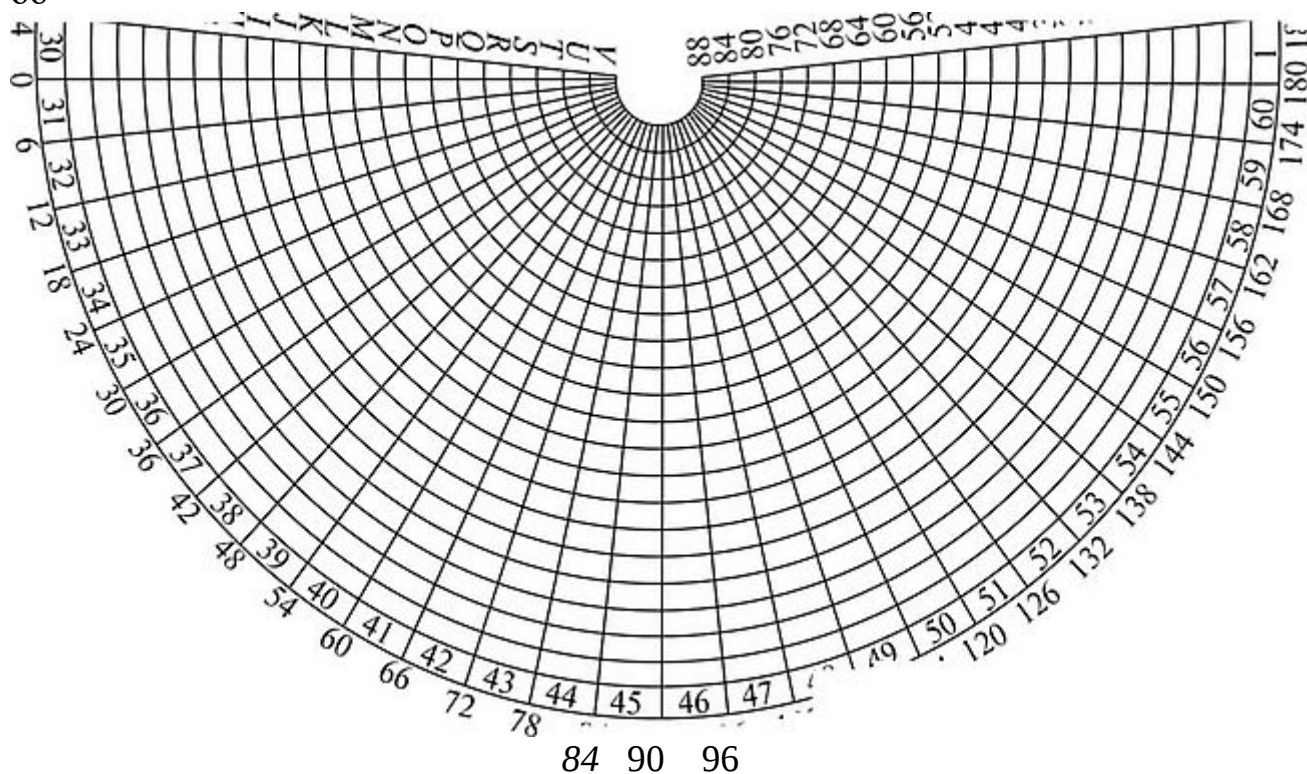


Рис.21. Листы карты масштаба 1:1 000 000

Размеры листов карт и планов

Масштаб	Число ЛИСТОВ	Протяженность	
		по параллели	по меридиану
1:1 000 000	1	6°	4°
1:500 000	9	3°	2°/
1:200 000	36	1°	0°40'
1:100 000	144	0°30'	0°20'
1:50 000	144 x 4	0° 15'	0°10'
1:25 000	144 x 16	0°07'30"	0°06'
1:10 000	144 x 64	0°03'45"	0°02'30"
1:5000	144x 256	0°0Г52,5"	0°0Г15"
1:2000	144x 2304	0°00'37,5"	0°00'25"

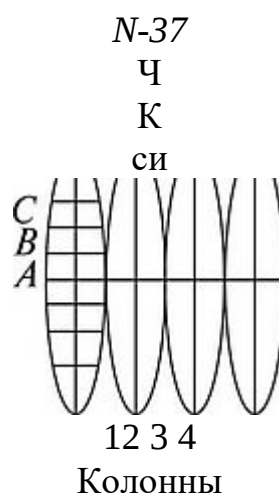


Рис. 22. Ряды и колонны

Лист карты масштаба 1:1 000 000 делят на четыре части и получают листы карты масштаба 1:500 000. Их номенклатура образуется добавлением к номенклатуре листа карты масштаба 1:1 000 000 заглавных букв русского алфавита А, Б, В, Г, например А-37-Г (рис. 22, а).

Листы карты масштаба 1:200 000 получают делением листа карты масштаба 1:1 000 000 на 36 частей. Номенклатура листов карты масштаба 1:200 000 образуется добавлением к номенклатуре листа карты масштаба 1:1 000 000 римских цифр от I до XXXVI, например А-37-XXXVI (см. рис. 23, б).

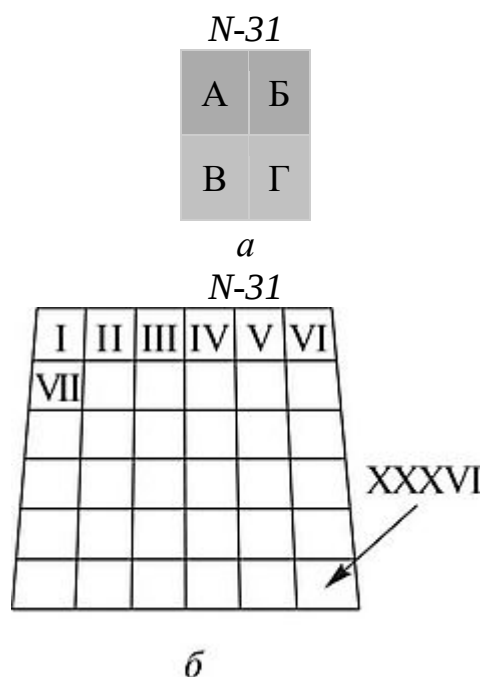


Рис. 23. Получение листов карты масштаба 1:500 000 (а) и 1:200 000 (б)

Лист карты масштаба 1:100 000 получают делением листа карты масштаба 1:1 000 000 на 144 листа размером 30' по широте и 20' по долготе (рис.24). Его номенклатура указывается добавлением арабских цифр.

Номенклатура листов топографических карт более крупных масштабов создается на основе карт масштаба 1:100 000. Лист карты масштаба 1:50 000 получают делением листа карты масштаба 1:100 000 на четыре части и обозначением его прописными буквами русского алфавита А, Б, В, Г (рис. 24). /V- 37

1 1	1 2	3	4	5	6	7	8	9	0	11 1	121
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
73 1	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	184
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	OC

											О
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	23	124	125	126	127	128	129	130	131	132
133 1	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	.144

Рис. 24. Получение листов карты масштаба 1:100 000

N-37-144 N-37-144-Г ЛГ-37-144-Г-Г

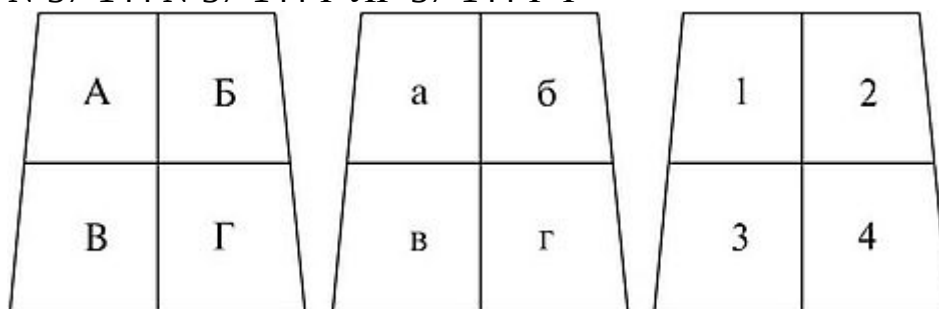


Рис. 25. Получение листов карт масштабов 1:50 000-1:10 000

Затем лист карты масштаба 1:50 000 делят на четыре части и получают листы карты масштаба 1:25 000, для обозначения которых к номенклатуре листа масштаба 1:50 000 добавляются строчные русские буквы а, б, в, г. Далее каждый лист карты масштаба 1:25 000 делят на четыре части и получают листы карты масштаба 1:10 000, для обозначения которых к номенклатуре карты масштаба 1:25 000 дописываются арабские цифры 1, 2, 3 или 4.

Номенклатуру листов плана масштаба 1:5000 в общегосударственной разграфке получают делением листа карты масштаба 1:100 000 на 256 листов плана (рис. 25) и добавлением к номенклатуре листа карты масштаба 1:100 000 арабских цифр в круглых скобках, например ЛГ-37-144-(256).

Планы масштаба 1:2000 в общегосударственной разграфке получают делением листа плана масштаба 1:5000 на девять листов (рис. 26). Для обозначения отдельных листов плана масштаба 1:2000

/а	б	в
г	д	п
и	з	

Рис. 26. Получение листов плана масштаба 1:5000

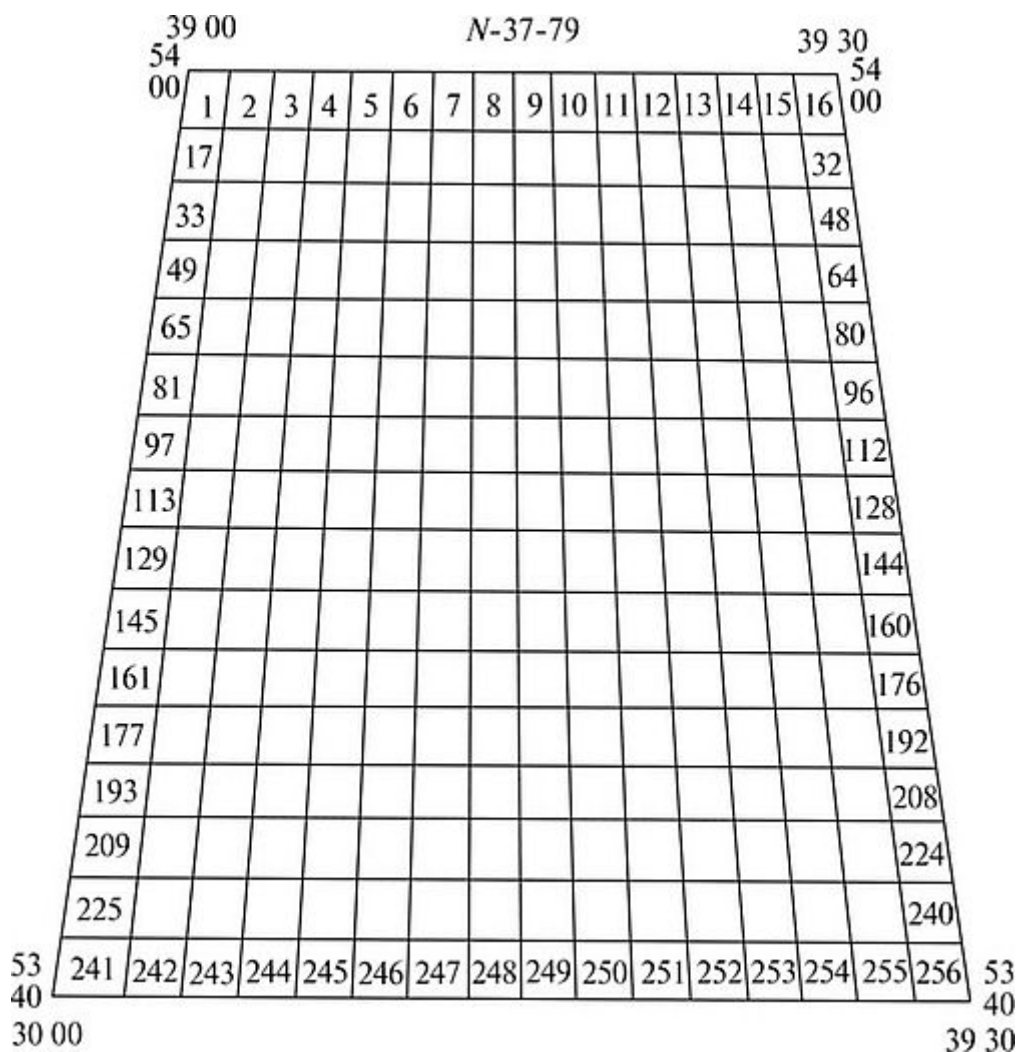


Рис. 27. Получение листов плана масштаба 1:5000

к номенклатуре плана масштаба 1:5000 дописывается соответствующая строчная буква русского алфавита, например Л[^]-37-144-(256-и). Топографические планы более крупных масштабов в общегосударственной системе координат не создаются.

В северных районах (севернее 60-й параллели) листы карт создаются спаренными и даже счетверенными.

Размеры по широте и долготе отдельных листов топографических карт и планов в общегосударственной разграфке, приведенные в [12], воспроизводятся в табл. 3.

ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

Рельеф есть совокупность неровностей реальной физической поверхности Земли. По своему происхождению элементы рельефа подразделяются на *естественные* и *искусственные*. На топографических картах элементы рельефа естественного происхождения принято обозначать коричневым цветом, а элементы искусственного происхождения — черным. Изображение рельефа осуществляется с помощью условных знаков, подписей высот и горизонталей (основной способ). Условные знаки

применяются для изображения элементов рельефа, которые не могут быть отображены с помощью горизонталей (обрывы, овраги, промоины, откосы, подпорные стенки и т.д.). На географических картах рельеф дневной поверхности и дна морей и океанов изображается с помощью *отмывки*, при создании топографических карт такой способ не применяется. Однако при использовании компьютерных технологий создания топографических карт изображение на них рельефа с помощью отмывки не представляет какой-либо проблемы.

Гора

Котловина

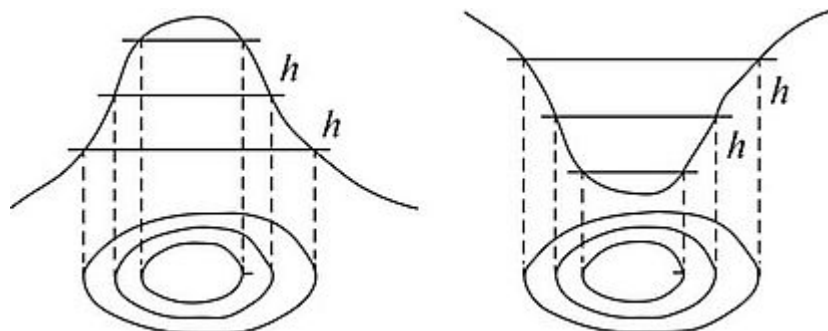


Рис. 28. Создание горизонталей сечением рельефа

Если какую-либо форму земной поверхности рассечь горизонтальной плоскостью (рис. 28), то получим некоторую кривую, все точки которой будут иметь одно и то же значение высоты, поэтому можно дать два эквивалентных определения горизонтали:

- 1) горизонталь — кривая, получаемая сечением земной поверхности *горизонтальной* плоскостью;
- 2) горизонталь — воображаемая кривая, все точки которой имеют одно и то же значение высоты.

ГОСТ [2] дает следующее определение: «Горизонталь — линия равных высот на карте».

Высотой сечения рельефа горизонталями называют расстояние между соседними секущими плоскостями (или уровенными поверхностями) при изображении рельефа горизонталями. Заложение — расстояние на плане или карте между двумя соседними горизонталями по заданному направлению. Заложение ската — заложение по направлению, нормальному к горизонталям [2].

При одной и той же высоте сечения рельефа горизонталями заложение ската тем меньше, чем больше крутизна ската — угол между направлением ската и горизонтальной плоскостью в данной точке (рис. 29). Следовательно, по величине заложения ската можно судить о крутизне склонов. На рис. 30 заложение ската (1 больше, чем заложение ската 2 , поэтому соответствующая ему крутизна склона меньше, чем крутизна ската для 2).

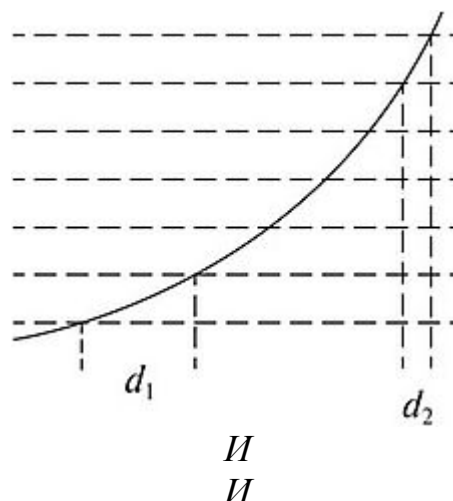


Рис. 30. Крутизна и заложение

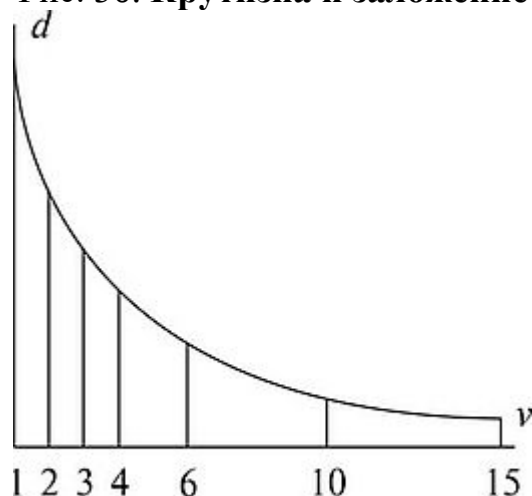


Рис. 3.16. График заложений

Для облегчения определения величины углов наклона или уклонов (уклоном называют тангенс угла наклона) используют графики заложений, на которых по горизонтальной оси указывают угол наклона V или величину уклона u , а по вертикальной — соответствующее им заложение в заданном масштабе (рис. 3.16).

Если сравнить изображения горы и котловины, на которых они показаны с помощью горизонталей, то изображения не будут различаться. Для их различения и для указания на планах и картах направления склонов используются бергштрихи — короткие штрихи, вычерчиваемые от изображения горизонтали вниз по направлению ската (см. рис. 29).

Высота сечения рельефа зависит от сложности рельефа (рельеф считается тем сложнее, чем больше крутизна склонов) и, например, для планов масштаба 1:500 принимается равной 0,25, 0,5, 1,0 м, а для масштаба 1:5000 — 1,0, 2,0, 5,0 м.

Основными формами естественного рельефа являются: *гора* (холм, сопка), *котловина*, *хребет*, *долина* (лог, распадок, падь), *склон*, *седловина* (рис. 31). Кривая, последовательно соединяющая точки хребта с наибольшими значениями высот, называется *водоразделом*. Кривую,

последовательно соединяющую точки долины с наименьшими значениями высот, называют тальвегом.

Для наглядности при изображении рельефа на планах и картах используют различные виды горизонталей, а именно:

- *основные*, соответствующие принятой высоте сечения рельефа и вычерчиваемые в виде сплошной линии толщиной 0,12 мм коричневого цвета;
- *основные утолщенные*, в качестве которых служат основные горизонтالي, высоты которых кратны четырем или пяти сечениям рельефа; их толщина принимается равной 0,3 мм. Например, при сечении рельефа $H = 2$ м основными утолщенными горизонталями будут горизонтали с высотами 10, 20, 30 м и т.д.;

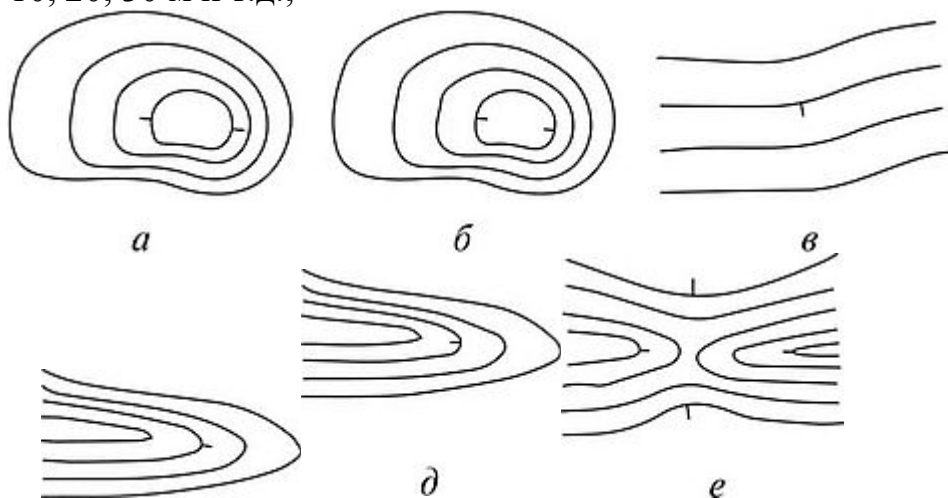


Рис. 31. Основные формы рельефа:

a — горы; b — котловина; $в$ — склон; $г$ — водораздел, хребет; $д$ — долина, лог;
 e — седловина

- *дополнительные*, называемые также *полу горизонталями* и проводимые через 0,5 сечения рельефа в целях изображения особенностей рельефа, не выражающихся с помощью основных горизонталей; они представляют собой штриховые линии толщиной 0,12 мм;

- *вспомогательные*, проводимые через 0,25 сечения рельефа, в связи с чем их называют также *четвертьгоризонталями*.

Если говорить более точно, то *кратность утолщенных горизонталей* при сечениях рельефа 1, 2 или 5 м составляет пять сечений, а при сечениях 0,25, 0,5 или 2,5 м — четыре сечения.

Чтобы по картам и планам можно было определять высоты точек земной поверхности, высоты горизонталей равномерно подписываются по всей площади каждого листа плана или карты. При этом цифры, обозначающие высоту горизонталей, располагаются головой вверх по склону.

Для удобства определения высот горизонталей по всей площади листа плана или карты подписывают отметки некоторых точек, в первую очередь

наиболее характерных: точек локальных минимумов или максимумов, седловых точек и т.д.

УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ И КАРТ

Элементы ситуации на топографических картах и планах отображаются с применением условных знаков. Условный знак — это совокупность таких основных изобразительных средств, как сигнатура (начертание, геометрический остов), размер, ориентация, цвет, яркость и толщина линий. Перечисленные величины представляют собой графические переменные (изобразительные средства), с помощью которых картограф передает свойства отображаемых объектов геопространства [50].

Условные знаки топографических планов делятся на масштабные и немасштабные. В соответствии с ГОСТом их подразделяют на точечные, линейные и площадные. Точечные условные знаки служат для изображения объектов, не выражающихся в заданном масштабе (например, столб, отдельно стоящее дерево, дорожный указатель и т.д.). Линейные условные знаки используются для изображения объектов, длина которых выражается в масштабе карты или плана, а ширина — нет. Примерами таких объектов могут служить дороги, ручьи, линии электропередачи и т.п. С помощью площадных условных знаков изображаются объекты, размеры которых позволяют строить их изображение в заданном масштабе. Кроме условных знаков широко используются пояснительные надписи, поясняющие условные знаки. С помощью надписей можно передать любой смысл и значение, но они менее наглядны, чем условные знаки. Требования к вычерчиванию условных знаков на топографических планах представлены в нормативном документе [43].

Все множество условных знаков разбито на несколько крупных групп: математическая основа и пункты геодезических сетей; объекты строительства; дороги; гидрография; растительность и грунты; границы и ограждения; рельеф. Для указания принадлежности конкретного объекта к определенной группе преимущественно используется цвет. В частности, искусственные объекты отображаются обычно черным цветом, объекты естественного рельефа — коричневым цветом, объекты гидрографии — синим и (или) голубым цветом, объекты растительности — зеленым цветом.

ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПО КАРТАМ И ПЛАНАМ

Существенное свойство топографических планов и карт и причина, по которой они находят самое широкое применение в различных сферах человеческой деятельности, в том числе при проектировании, строительстве и эксплуатации искусственных объектов, заключается в возможности замены измерений тех или иных величин на земной поверхности измерениями на планах и картах.

Наиболее часто с помощью планов и карт решаются следующие *элементарные задачи*:

- 1) определение расстояний между точками земной поверхности;
- 2) определение их координат;
- 3) измерение горизонтальных углов или ориентирных углов (азимутов, дирекционных углов, румбов), линий;
- 4) определение углов наклона линий;
- 5) определение высот точек земной поверхности, превышений, уклонов и др.

Примерами более *сложных задач*, решаемых с применением планов и карт, являются:

- 1) выбор положения проектируемых объектов в плане и по высоте с минимизацией или максимизацией некоторого критерия оптимальности;
- 2) построение профилей земной поверхности;
- 3) установление видимости между точками земной поверхности;
- 4) отбивка возможной зоны затопления при наводнениях;
- 5) определение площади водосбора;
- 6) прогноз разлива нефти при авариях на нефтепроводах;
- 7) разработка проекта оптимальной вертикальной планировки территории;
- 8) подсчет объемов земляных работ;
- 9) оптимальное размещение тех или иных объектов на территории (например, сети магазинов, детских учреждений или остановок общественного транспорта);
- 10) выбор оптимальных маршрутов между двумя или несколькими пунктами на земной поверхности и др.

Из данного перечня следует, что все задачи могут быть разделены на два класса: обычные вычислительные задачи и оптимизационные задачи. Последние являются более сложными, принято считать, что их сложность на порядок выше сложности вычислительных задач. Как правило, более или менее сложные задачи на топографических планах в настоящее время решаются с применением специального программного обеспечения — геоинформационных систем (ГИС).

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ

На планах и картах расстояния между заданными точками или длины линий определяются непосредственным измерением с помощью циркуля-измерителя и линейного или поперечного масштаба. Для нахождения расстояния между двумя точками на чертеже необходимо выполнить следующие действия:

- 1) определить число метров на местности, соответствующее одному основанию на линейном или поперечном масштабе, для чего длину

основания в сантиметрах умножить на знаменатель масштаба. Пусть, например, основание равно 2 см и масштаб плана равен 1:2000, тогда одному основанию на местности соответствует $0,02 \text{ м} \cdot 2000 = 40 \text{ м}$;

- 2) определить циркулем-измерителем расстояние на чертеже в основаниях (рис. 4.1, а, б). Пусть, например, расстояние между точками 4и5на плане составляет 2,365 оснований;
- 3) найти расстояние на местности, для чего расстояние, выраженное в основаниях, умножить на число метров, соответствующее одному основанию. В нашем примере расстояние на местности составит: $2,365 \cdot 40 \text{ м} = 94,6 \text{ м}$. Расстояния должны измеряться с точностью масштаба используемого плана (карты), величина которой составляет $0,0001 \cdot M \text{ м}$, где M — знаменатель масштаба.

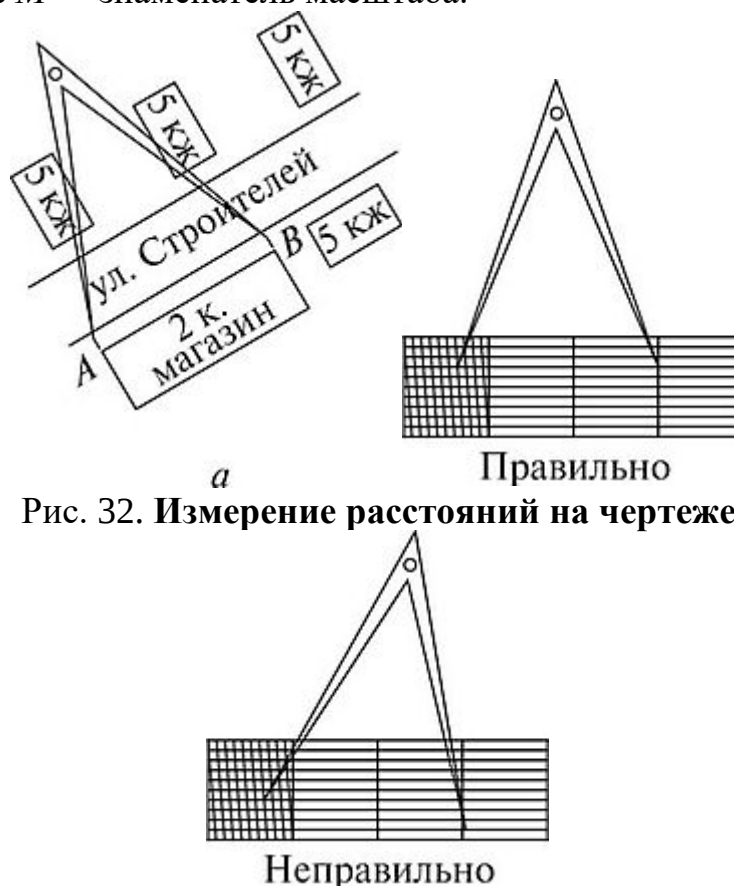


Рис. 32. Измерение расстояний на чертеже

Если точки расположены на разных листах плана (или карты), то расстояние между ними можно найти, измерив их прямоугольные координаты и решив обратную геодезическую задачу на плоскости.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ

Для определения прямоугольных координат на каждом листе карты построена координатная сетка в виде квадратов со сторонами, соответствующими 1 км на земной поверхности. Таким образом, размеры квадратов на карте зависят от масштаба карты. Топографические карты в Российской Федерации создаются только в проекции Гаусса — Крюгера,

поэтому вертикальные линии сетки прямоугольных координат (абсциссы) параллельны осевому меридиану, горизонтальные — экватору. Координаты сетки подписаны между внешней и внутренней рамками карты (рис. 4.2). Кроме

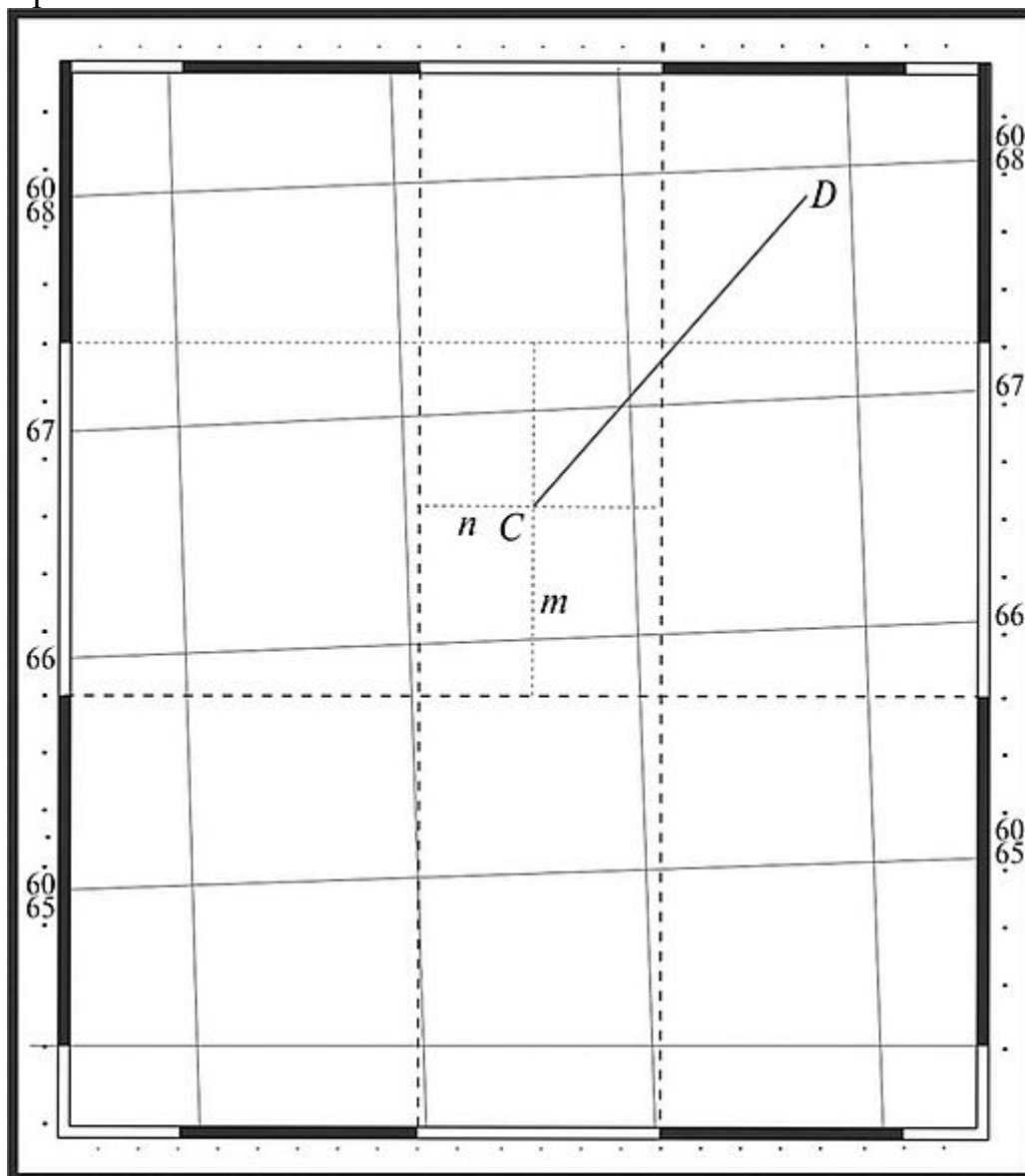


Рис. 4.2. Сетка координат

того, координаты некоторых вершин квадратов подписаны непосредственно на картографическом изображении.

На планах размеры квадратов не зависят от масштаба и всегда равны 10 см. Координаты сетки квадратов подписаны только между внешней и внутренней рамками.

Определение координат сводится к измерению расстояний (приращений координат) и выполняется следующим образом. Вначале из определяемой точки опускают перпендикуляры D_x и A_y на южную и западную стороны квадрата, в котором располагается определяемая точка. Затем с помощью масштабной линейки и циркуля-измерителя определяются длины указанных перпендикуляров. При этом значения приращений координат должны

измеряться с точностью масштаба используемой карты или плана. На рис. 32 они равны $AX = 470$, $AU = 610$. Значения координат определяемой точки находят по формулам

$$X = X_{ю} + AX$$

$$AU$$

$$Y = Y_3 + AU$$

$$AX$$

$$Y_0$$

Пусть, например, координаты южной и западной сторон квадрата равны соответственно $X_{ю} = 6\,067\,000$ м; $Y_3 = 4\,313\,000$ м. Прибавив к ним значения приращений, получим координаты определяемой точки:

Изложенный способ определения координат точек по плану или карте не учитывает деформацию бумаги. Если такая деформация не исключена и требуется измерить координаты с максимально возможной точностью, то для определения приращений координат ΔX и ΔY могут применяться формулы

$$\Delta X = \Delta Y = \frac{1}{2} \Delta G,$$

где B_x и B_y — номинальное значение разностей координат между двумя соседними линиями координатной сетки; Δ и Δ — измеренные на чертеже значения этих же разностей; ΔX и ΔY — измеренные значения приращений координат.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КООРДИНАТ

Для определения геодезических координат ? и используется сетка таких координат. Листы топографических карт ограничены с юга и севера параллелями, с запада и востока — меридианами. Они образуют внутреннюю рамку номенклатурного листа карты. Для точек их пересечения приведены значения широт и долгот.

На некотором расстоянии от внутренней рамки построена сетка геодезических координат. От южной параллели на север (вверх) и от западного меридиана на восток (вправо) нанесены минутные отрезки, закрашенные поочередно черным цветом. Минутные отрезки, в свою очередь, разделены на 10-секундные отрезки, обозначенные точками (см. рис. 33).

Пользуясь минутными и 10-секундными отрезками, можно провести на карте истинные меридианы и параллели. Для этого соединяют прямыми линиями оба конца одноименных минутных делений по широте и долготе, расположенные на противоположных сторонах рамки (см. рис. 33). Для определения координат заданной точки (точки С см. на рис. 4.2) из нее опускают перпендикуляры на южную параллель и западный меридиан и измеряют их длины; на рис. 4.2 $m = 550$ м, $n = 430$ м. Затем длины этих отрезков пере-вычисляют в градусную меру по формулам

$$\Delta B = \Delta L = 60'' \cdot m$$

$$S_1$$

$$60''$$

$$\frac{60''}{S_2} n,$$

где $S_1 = 1860$ и $S_2 = 1080$ — измеренные по карте длины минутных интервалов соответственно по долготе и широте в метрах.

Вычисленные по этим данным длины отрезков в угловой мере равны

$$AB = \frac{550}{1860} = 18'';$$

$$DL = \frac{430}{1080} = 24''.$$

$$DL = \frac{430}{1080} = 24''.$$

$$1080$$

ИЗМЕРЕНИЕ ОРИЕНТИРНЫХ УГЛОВ

Ориентирными углами линий являются истинные азимуты, дирекционные углы и румбы, вычисляемые по значениям азимутов и дирекционных углов.

Для измерения дирекционного угла линии, например, AB на рис. 34 через ее начальную точку проводят линию, параллельную оси абсцисс координатной сетки. Затем с помощью транспортира измеряют дирекционный угол (см. рис. 34, а). Можно поступить иначе. Линию, дирекционный угол которой необходимо измерить, продолжают до пересечения с вертикальной линией координатной сетки и в точке пересечения измеряют дирекционный угол (см. рис. 34, б). При необходимости иметь обратный дирекционный угол исходят из того, что обратный дирекционный угол отличается от прямого на 180° :

$$a(BA) = a(AB) \pm 180^\circ.$$

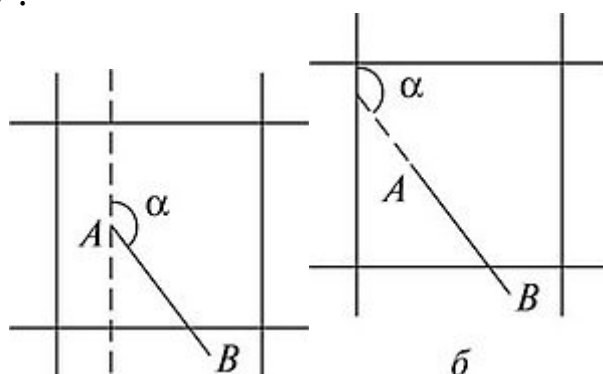


Рис. 34. Измерение дирекционного угла

Для определения азимута линии, например линии AB (см. рис. 4.4), можно измерить ее дирекционный угол, а затем вычислить значение истинного азимута по формуле

$$A = a \pm y,$$

где y — сближение меридианов, в свою очередь вычисляемое по приближенной формуле

$$y = AB \cdot B,$$

где B — широта точки; AB — разность долгот точек.

Если начальная точка C (см. рис. 34) при этом находится восточнее осевого меридиана, т.е. сближение меридианов западное, то значение y приплюсовывается, в противном случае, а именно при восточном сближении

меридианов, значение y вычитается. Взаимное расположение линий осевого меридиана и истинных меридианов приводится на каждом номенклатурном листе топографической карты под его южной рамкой.

Для непосредственного определения истинного азимута линии, например, через ее начальную точку, т.е. точку C , проводят истинный меридиан, используя сетку геодезических координат. Затем, пользуясь транспортиром, измеряют угол между северным направлением меридиана точки C и линией CU . Азимут линии CU , приведенный на рис. 34, равен 46° . При нахождении обратного азимута следует учитывать сближение меридианов и обратный азимут вычислять по формуле

$$Д(У)С = Д(СУ) \pm 180^\circ + y(CУ) \pm y(ОС).$$

Румбы вычисляют по величинам азимутов и дирекционных углов, пользуясь соотношением между азимутами и румбами, а также между дирекционными углами и румбами.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТМЕТОК ТОЧЕК

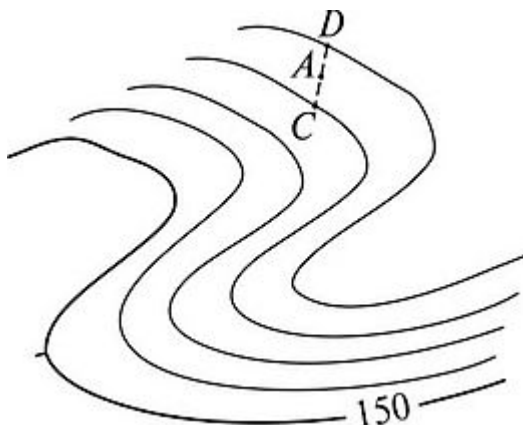


Рис. 35. Определение высоты точки

Отметка любой точки может быть определена относительно горизонталей. Если точка расположена непосредственно на горизонтали, то ее отметка равна отметке этой горизонтали. Если точка расположена между горизонталями, то необходимо определить отметку $Я$, нижней горизонтали — ближайшей к точке горизонтали, расположенной ниже по склону. Затем через определяемую точку (точка A на рис. 36) проводят линию по нормали к горизонталям и измеряют заложение ската $сl$ и расстояние a от нижней горизонтали до определяемой точки.

Зная высоту $И$ сечения рельефа горизонталями, находят высоту $Я$ искомой точки как

$$Я = Я_н + \frac{a}{сl} \cdot И.$$

Данная формула получена в предположении возможности линейной интерполяции между ближайшими точками двух соседних горизонталей. На рис. 4.6 требуется найти высоту точки A , точка C — точка нижней горизонтали, высота которой равна $Я_н$, B — точка ближайшей верхней

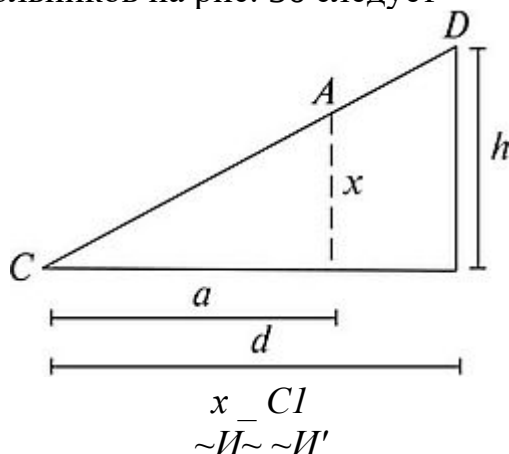
горизонталю, высота которой равна $Я_2$. Разность высот двух соседних горизонталей суть высота сечения рельефа горизонталями:

$$И = Я_2 - Я_1$$

Если x — разность высоты $Я$ определяемой точки и высоты $Я_1$ нижней горизонтали

$$x = Я - Я_1,$$

то из подобия треугольников на рис. 36 следует



откуда находим значение x :

$$a \cdot I$$

$$x = \frac{a \cdot I}{d}$$

Рис. 36. Вычисление ВЫСОТЫ $Н = Н_1 + X$.

После чего можно найти высоту $Я$ определяемой точки как

Подставив сюда значение x , получим приведенную ранее формулу (4.1).

В качестве примера рассмотрим рис.36. Пусть высота сечения рельефа горизонталями при этом $И = 2$ м, т.е. горизонтали проведены через 2 м. Тогда высота $Я_1$ нижней горизонтали составляет $150 \text{ м} + 3 \cdot 2 \text{ м} = 156 \text{ м}$. Пусть также в результате измерений на плане было установлено, что заложение ската $с = 15$ м, от нижней горизонтали до точки A расстояние $a = 5,5$ м, тогда высота точки A будет равна

$$Я = 156 + \frac{5,5}{15} \cdot 2 = 156,7 \text{ м}.$$

По общеобязательной инструкции по топографическим съемкам в крупных масштабах ошибки в определении высот точек по горизонталям на планах не должны превышать $1/3$ сечения рельефа для местности со средними углами наклона скатов до 2° и $2/3$ высоты сечения рельефа для местности с углами наклона от 2 до 6° .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРУТИЗНЫ СКАТА

Крутизна ската определяется углом наклона ската к горизонту. Для каждого промежутка между горизонталями (заложения) крутизна ската может быть вычислена по формуле

$$\text{tg } \alpha = \frac{И}{a}$$

где H — высота сечения рельефа горизонталями; $c!$ — заложение.

Для определения крутизны ската используется график заложений, имеющийся на каждом листе карты. Строят его следующим образом. Проводят прямую линию, на которой откладывают равные отрезки произвольной длины. Из конечных точек этих отрезков восстанавливают перпендикуляры, равные заложению. Величины заложений при этом вычисляют по формуле

$$c! = \operatorname{tg} v \cdot c$$

Концы перпендикуляров соединяют плавной кривой.

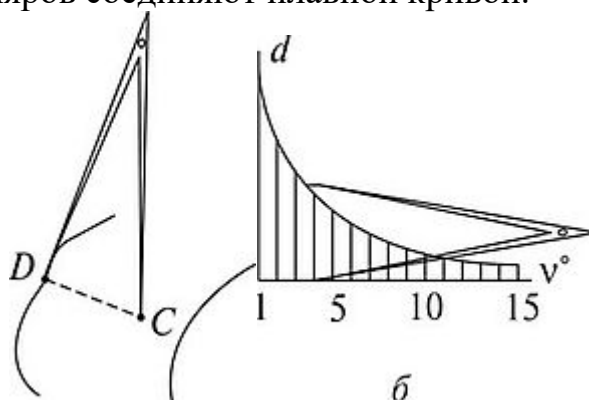


Рис. 37. Определение крутизны ската

Для определения крутизны ската берут на карте в раствор циркуля заложение ската $c!$ между соседними горизонталями (рис.37, а) и прикладывают его к шкале графика так, чтобы одна ножка циркуля была на горизонтальной линии, а другая — на кривой (см. рис. 37, б).

Крутизну ската определяют по a

положению ножки на кривой. На рис. 4.7 крутизна ската равна примерно $3,3^\circ$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ СКАТА

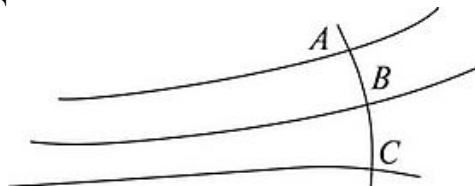


Рис. 4.8. Направление ската

За направление ската местности принимают направление свободно стекающей по нему воды. На карте направление ската определяется заложением ската, т.е. по направлению перпендикуляра к горизонталям. Направление ската перпендикулярно к горизонталям в каждой его точке. Чтобы определить направление ската в точке, лежащей на горизонтали, необходимо провести через нее прямую, перпендикулярную к этой горизонтали. Если точка лежит между горизонталями, то через нее нужно

провести кривую, перпендикулярную к верхней и нижней горизонталям. Касательная к этой кривой в заданной точке и будет искомым направлением ската (рис. 4.8).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УКЛОНА ЗАДАННОЙ ЛИНИИ

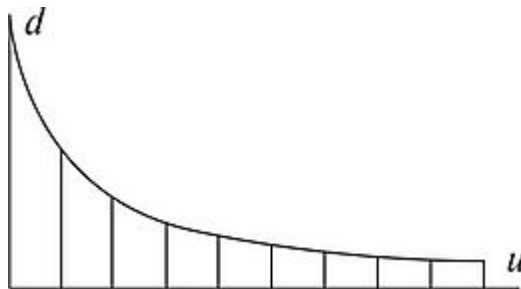
Уклон линии, или тангенс угла наклона линии к горизонту, может быть найден по формуле

$$u = \frac{H}{L} = \frac{h}{l},$$

где h — превышение конечной точки линии над начальной, т.е. разность высот конечной и начальной точек; l — горизонтальное проложение линии.

Отметки точек определяются по плану с горизонталями, длина линии измеряется с помощью масштабной линейки и циркуля-измерителя. Уклон линии может выражаться либо аликвотной дробью, либо в процентах, либо в промилле (‰).

При этом следует различать две задачи: определение уклона местности в данной точке по заданному направлению и определение уклона некоторой линии на всем ее протяжении.



Чтобы каждый раз при решении первой из указанных задач не выполнять вычисления, строят специальный график (рис. 4.9), на котором по горизонтальной оси откладывают равные отрезки, принимаемые за уклоны. Вертикально

— ГЧ^чОСО

о" о о о" — вверх откладывают в масштабе

$u_{л}$, плана (карты) расстояния (l , соответствующие этим уклонам).

Рис. 39. График уклонов

Чтобы построить на карте или плане линию с заданным уклоном, вычисляют расстояние между горизонталями, соответствующее заданному уклону, по формуле

$$d = \frac{h}{u},$$

где h — высота сечения рельефа; u — заданный уклон. После этого, пользуясь поперечным масштабом, в раствор циркуля берут вычисленную величину d и от начальной точки до конечной последовательно делают

засечки на соседних горизонталях. Получаемые точки соединяют ломаной линией.

При решении второй задачи — определении уклона линии на всем ее протяжении — находят значения высот точек в начале и в конце линии Я, и #₂ и либо измеряют расстояние (*l* на плане (карте) непосредственно с помощью измерителя и масштабной линейки, либо находят его по координатам этих точек, решив обратную геодезическую задачу, после чего уклон линии получают по формуле

$$\frac{H_2 - H_1}{d}.$$

Если точки расположены на разных листах плана или карты, то данная задача может быть решена только последним способом.

ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДИМОСТИ МЕЖДУ ТОЧКАМИ

Профиль линии — это линия пересечения физической поверхности Земли вертикальной плоскостью, проходящей через начальную и конечную точки заданной линии. При его построении проводят горизонтальную линию — ось расстояний, на которой обычно в масштабе плана (карты) откладывают расстояния между точками. Вертикально вверх (по оси высот) откладывают отметки точек профиля. При этом масштаб по вертикальной оси чаще всего принимают в 10 раз крупнее горизонтального масштаба.

Построение профиля начинают с определения отметки начальной точки. Ее наносят на горизонтальную ось и вертикально вверх откладывают отметку. Затем последовательно измеряют на плане (карте) расстояния от начальной точки заданной линии до точек ее пересечения с горизонталями. Эти расстояния откладывают по оси расстояний, а по оси высот — отметки соответствующих точек. Затем точки на концах восстановленных перпендикуляров соединяют ломаной линией и получают профиль (рис. 40).

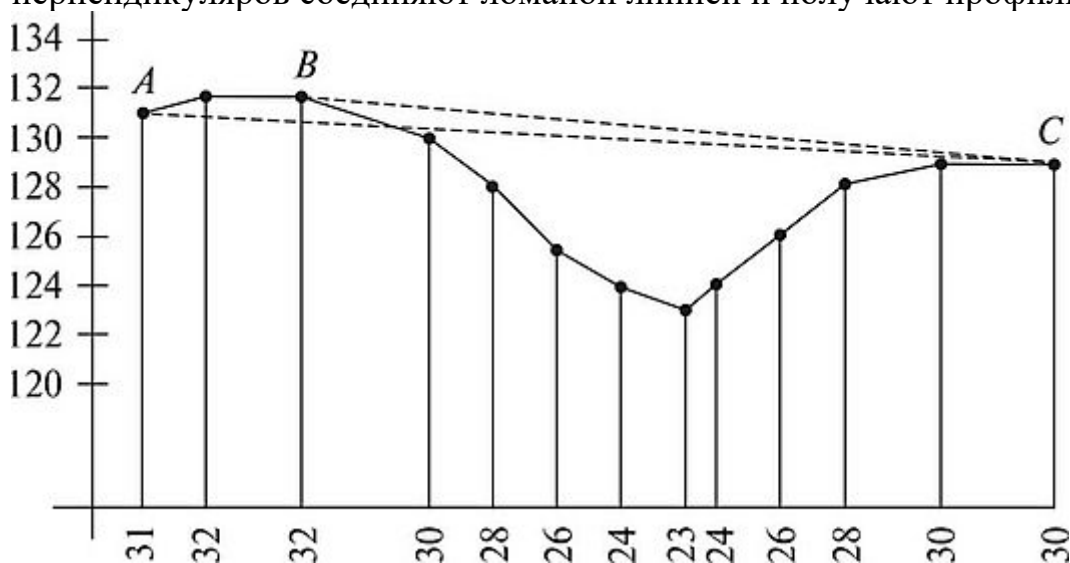


Рис. 40. Продольный профиль

Для определения видимости между точками с помощью плана или карты строят профиль данной линии и соединяют интересующие точки прямой. Если все точки земной поверхности лежат ниже этой прямой, то видимость между заданными точками существует. Так, на рис. 4.10 между точками *A* и *C* видимости нет, а между *B* и *C* есть.

При необходимости от земной поверхности в принятом вертикальном масштабе откладывают высоты пересекаемых географических объектов (насыпей, леса, кустарника, зданий и т.п.).

ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ

Определение площадей различных фигур на плане (карте) может осуществляться тремя способами: аналитическим, графическим и механическим.

Аналитический способ. Сущность этого способа заключается в том, что площадь фигуры вычисляется по координатам точек, определяющих фигуру. Следовательно, должны быть известны координаты точек граничной линии, и граничная линия должна представлять собой ломаную линию — многоугольник.

На рис. 41 представлена фигура в виде треугольника (1—2—3), площадь которого необходимо вычислить. Как следует из рис. 4.11, площадь треугольника (1—2—3) может быть представлена как сумма и разность площадей трапеций, основаниями которых являются координаты y точек 1, 2 и 3, а высотами — разности координат x этих же точек. Площадь каждой трапеции равна полусумме ординат, умноженной на разность соответствующих абсцисс, следовательно, площадь многоугольника (1—2—3) можно выразить как

$$P = \frac{1}{2} (y_3 + y_2)(x_2 - x_1) + \frac{1}{2} (y_2 + y_1)(x_1 - x_3) + \frac{1}{2} (y_1 + y_3)(x_3 - x_2)$$

Умножив обе части равенства на 2, раскрыв скобки и сгруппировав слагаемые по y , получим

$$2P = y_3(x_2 - x_1) + y_2(x_1 - x_3) + y_1(x_3 - x_2).$$

Если сгруппировать слагаемые по x , то получим выражение $2P = x_1(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2)$.

Следовательно, удвоенная площадь фигуры равна сумме произведений ординаты каждой точки на разность абсцисс последующей и предыдущей точек либо сумме произведений абсциссы каждой точки на разность ординат предыдущей и последующей точек.

2	
/ '	
/	
/ 1	
/ 1	
1/ !	

Г----	
$\begin{array}{c} \cdot 1 \\ \cdot 1 \\ \hline _ _ 1 _ \end{array}$	-А 7
$\begin{array}{c} \cdot 1 \ 1 \\ \cdot 1 \ 1 \\ \cdot 1 \ 1 \\ \cdot 1 \ 1 \\ \hline _ 1 _ 1 _ \end{array}$	$\begin{array}{c} \cdot 1 \text{ -Д} \\ \cdot 1 \\ \cdot 1 \\ \cdot 1 \end{array}$

Рис. 41. Аналитический способ

В общем виде это запишется как

$$2^P = \frac{n \cdot n}{-*/+!>\bullet}$$

Если одна из данных формул используется для вычислений площади, то другая — для контроля вычислений.

Графический способ. Графический способ определения площадей заключается в том, что участок, площадь которого требуется определить, разбивается на простейшие геометрические фигуры: треугольники, трапеции, прямоугольники. Площади этих фигур вычисляются по известным из геометрии формулам. Стороны разбиваемых фигур должны быть прямыми линиями. Измерения их длин производят с помощью циркуля-измерителя и поперечного масштаба.

Так, например, на рис. 42 участок 1—2—3—4 разбит на два треугольника, имеющих общее основание.

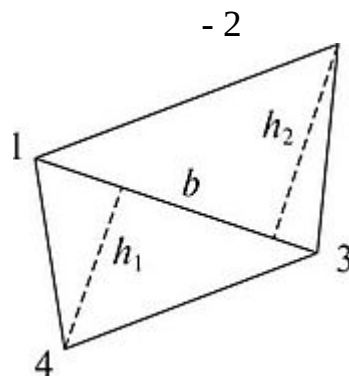


Рис. 4.12. Графический способ

Измерив элементы B , $\angle$, и H_2 , площади треугольников можно вычислить по формулам
 $S_1 = \frac{1}{2} \cdot A \cdot B \cdot \sin \angle$; $S_2 =$



Рис. 43. Планиметр

Площадь всего участка определяется как сумма площадей треугольников. Точность определения площади графическим способом определяется точностью измерения длин линий, участвующих в вычислении площадей.

Механический способ. Измерение площадей на планах (картах) механическим способом производится с помощью специального прибора — полярного планиметра (рис. 43).

Полярный планиметр состоит из двух рычагов: полюсного (1) и обводного (3), соединенных шаровым шарниром, укрепленным на конце полюсного рычага. На обводном рычаге размещается передвижная каретка (2) со счетным механизмом. Обводной рычаг имеет ручки со шпилем или круглым стеклом (4) с целиком — точкой для обвода контуров.

Перед измерением площади обводной шпиль или точка стеклянного целика устанавливается над какой-либо точкой контура и по счетному механизму делается начальный отсчет u_1 , после чего обводят измеряемый контур и берут отсчет u_2 . Искомая площадь при полюсе вне контура вычисляется по формуле

$$P = c(u_2 - u_1) \pm A$$

Если полюс находится внутри контура, то для получения площади используется формула

$$P = c(u_2 - u_1 + u_0),$$

где c — цена деления планиметра; A — постоянная планиметра при его установке внутри контура определяемой площади.

Перед измерением площадей необходимо определить цену деления планиметра. Значение c определяют несколькими обводами какой-либо фигуры с известной площадью P (например, квадрата сетки прямоугольных координат) и вычислением по формуле

$$c = \frac{P}{u_2 - u_1 - nP}$$

где n — число обводов фигуры.

Для повышения точности определения s рекомендуется сделать обвод четыре раза, не допуская угол, образуемый рычагами, менее 30° и более 150° . Счетное колесо при этом должно вращаться легко и свободно.

Постоянное число планиметра u можно определить так: обвести площадь фигуры с полюсом вне этой фигуры и получить разности $(y_2 - U)$. Затем установить полюс внутри фигуры, обвести ее и получить разность $(u_2 - U)$. Вычитая из первой разности вторую, получим постоянное число планиметра

$$Y = (y_2 - U) - (u_2 - u).$$

Точность определения площадей планиметром колеблется в пределах от 1:200 до 1:400.

ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ

Измерение углов является одним из основных видов геодезических работ при создании плановых геодезических сетей, топографической съемке, инженерных изысканиях, строительстве и эксплуатации сооружений. Однако измерение углов характеризуется известной неопределенностью. Эта неопределенность заключается в том, что любой угол в пространстве образован двумя пересекающимися прямыми, принадлежащими некоторой плоскости. Измерение угла в какой-либо плоскости не составляет труда, но трудно что-либо сказать о положении такой плоскости, поэтому при измерении углов желательно иметь некоторую постоянную базовую линию. В геодезии такой базовой линией при измерении углов принимается отвесная линия. Ее выбор объясняется тем, что отвесные линии:

- 1) существуют в каждой точке земного пространства;
- 2) определение их направления (с помощью отвеса или уровня) не составляет труда;
- 3) при малых расстояниях между двумя точками непараллельностью отвесных линий в них можно пренебречь;
- 4) при больших расстояниях непараллельность отвесных линий может быть определена и учтена по строгим формулам.

По указанным причинам в геодезии принято измерять, как правило, не произвольные, а горизонтальные и вертикальные углы. Горизонтальный угол — это плоский угол, образованный проекциями точек местности на горизонтальную плоскость. Аналогичное определение дает ГОСТ [2]: «Горизонтальный угол — двугранный угол, ребро которого образовано отвесной линией, проходящей через данную точку». Вертикальный угол некоторой линии — это угол между данной линией и горизонтальной плоскостью. Для их измерения используются горизонтальные и вертикальные круги с делениями, называемые *угломерными кругами*.

Измерение горизонтального угла (пусть это будет угол LBC на рис. 44) в принципе выполняется следующим образом:

- 1) центр угломерного круга размещают на отвесной линии, проходящей через вершину угла B
- 2) угломерный круг приводится в горизонтальное положение (отвесная линия при этом будет совпадать с нормалью к плоскости угломерного круга);

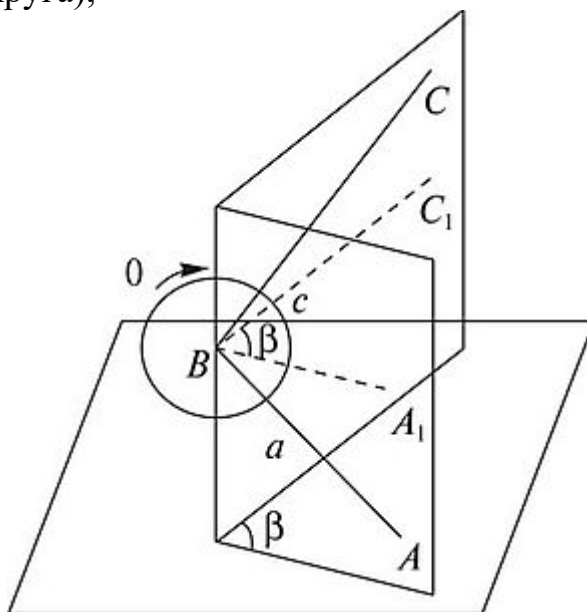


Рис. 44. Измерение горизонтального угла

- 3) через вершину B и правую точку A измеряемого угла проводится вертикальная плоскость. При ее пересечении со шкалой угломерного круга получим отсчет a ;
- 4) через вершину B и левую точку C измеряемого угла также проводится вертикальная плоскость. Ее пересечение со шкалой угломерного круга даст отсчет c ;
- 5) если деления на угломерном круге нанесены по часовой стрелке, то горизонтальный угол P будет равен разности отсчетов по горизонтальному кругу

$$P = a - c.$$

Измерение вертикального угла. Пусть требуется измерить вертикальный угол, образованный линией LB (рис. 5.2), но мы не можем установить вертикальный угломерный круг непосредственно в точке A . Чтобы обойти это небольшое затруднение, мы можем установить его в точке A , на некоторой высоте / над точкой A , а над точкой B установить некоторую визирную цель такой же высоты,

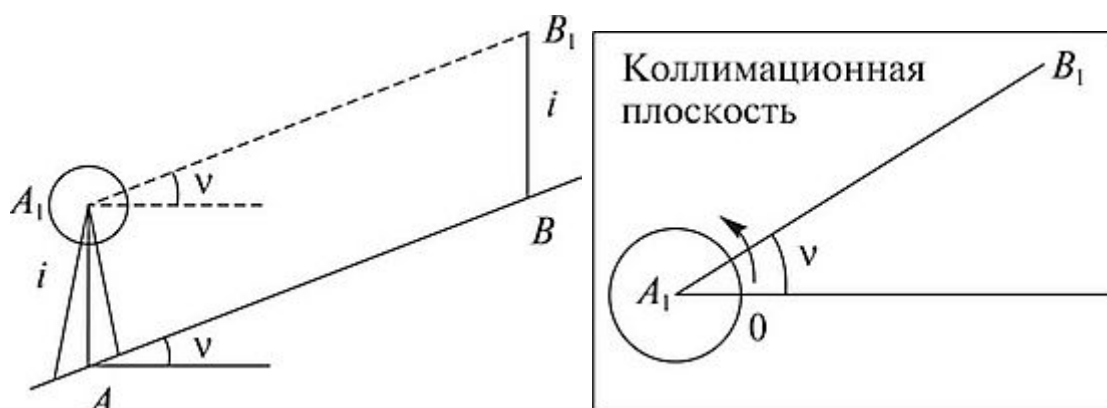


Рис. 45. Измерение вертикального угла

например, вежу. Тогда угол между линией A_1B_1 и горизонтальной плоскостью будет равен вертикальному углу линии AB . Этот угол уже может быть измерен.

Сущность непосредственного измерения вертикального угла с помощью вертикального угломерного круга состоит в следующем:

- 1) центр угломерного круга размещают в точке A_x ;
- 2) плоскость вертикального угломерного круга совмещают с вертикальной плоскостью, проходящей через точки A и B ;
- 3) нулевой диаметр (диаметр, проходящий через нулевое деление) угломерного круга вертикального круга приводят в горизонтальное положение;
- 4) через центр вертикального угломерного круга и точку B_x проводят прямую A_xB_1 . В пересечении линии A_xB_1 со шкалой вертикального круга получим отсчет V , который и будет значением вертикального угла.

Реальное измерение вертикального угла более сложное. Эти сложности связаны с приведением нулевого диаметра в горизонтальное положение.

При измерении углов в геодезии применяются такие угловые меры, как градусная, десятичная и радианная. В *градусной мере* окружность делится на 360 *градусов*, что обозначается как 360° , при этом градус делится на 60 минут, одна минута — на 60 секунд, т.е. $1^\circ = 60' = 3600''$. Большинство геодезических приборов для измерения углов имеют градусную шкалу [48-50].

В *десятичной, или градовой, мере* окружность разбивается на 400 равных частей, называемых *градами*, один градус содержит 100 *градовых минут*, одна градовая минута делится на 100 *градовых секунд*, что обозначается как $1^g = 100' = 10\,000''$. Приборы для измерения углов, имевшие десятичную шкалу, к сожалению, не получили массового распространения, хотя удобство такой шкалы представляется очевидным, объяснением чему, вероятней всего, может служить человеческий консерватизм.

В *радианной мере* за единицу измерения углов принимается *радиан* — центральный угол, опирающийся на дугу, длина которой равна радиусу окружности. Радианы принято обозначать греческой буквой ρ . Радианная мера

в геодезии используется в формулах для вычисления некоторых величин. Соотношение между градусной, десятичной и радианной мерами:

$$1^{\circ} = 57,2957795131' = 3437,7467708'' = 206\,264,80625'' = 63,6619772368''.$$

Другие меры измерения углов (часовая и артиллерийская) в элементарной геодезии не применяются.

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ, ИХ УСТРОЙСТВО

Рассмотрим геодезические приборы для измерения углов на примере теодолита 2Т30. Теодолит — прибор для измерения горизонтальных и вертикальных углов и расстояний с невысокой точностью. В зависимости от точности измерения углов теодолиты подразделяются на *высокоточные*, *точные* и *технические*. Погрешность однократного измерения угла (измерения одним приемом) высокоточным теодолитом составляет 0,5—1'', точным — 2—10'', техническим — 15—30''.

В настоящее время выпускаются и используются в производстве только оптические теодолиты. *Оптические теодолиты* характеризуются наличием стеклянных угломерных кругов и оптической системы для передачи изображения делений на угломерных кругах в поле зрения отсчетного микроскопа теодолита.

Основные части теодолита 2Т30 и 2Т30П. Внешний вид теодолита 2Т30 представлен на рис. 46. Данный теодолит располагается на основании упаковочного футляра (9), которое с помощью станового винта крепится к головке штатива (рис. 47).

Непосредственно к основанию футляра с помощью трех подъемных винтов (8) крепится подставка (7), на которой размещается горизонтальный угломерный круг (17), состоящий из двух соосно расположенных стеклянных кругов: нижнего, называемого лимбом, и верхнего, называемого алидадой. Лимб имеет закрепительный (18) и наводящий (10) винты; их наличие является признаком *повторительного теодолита*. Алидада с отсчетным устройством также имеет закрепительный (6) и наводящий (11) винты. На алидаде установлен цилиндрический уровень (5) с исправительными винтами. На двух колонках (подставках трубы) крепится зрительная труба, имеющая закрепительный (1) и наводящий (12) винты зрительной трубы.

Труба имеет ось вращения, объектив (13), окуляр, кремальеру (2), диоптрийное кольцо (4), сетку нитей и защитный колпачок (3) сетки нитей. Для быстрого наведения на визирную цель труба снабжена визиром. Вертикальный угломерный круг (14) также содержит лимб и алидаду. Для взятия отсчетов по угломерным кругам служит микроскоп. Для получения четких изображений отсчетов по угломерным кругам используется диоптрийное кольцо микроскопа (15). Для подсветки шкал угломерных кругов служит зеркальце (16).

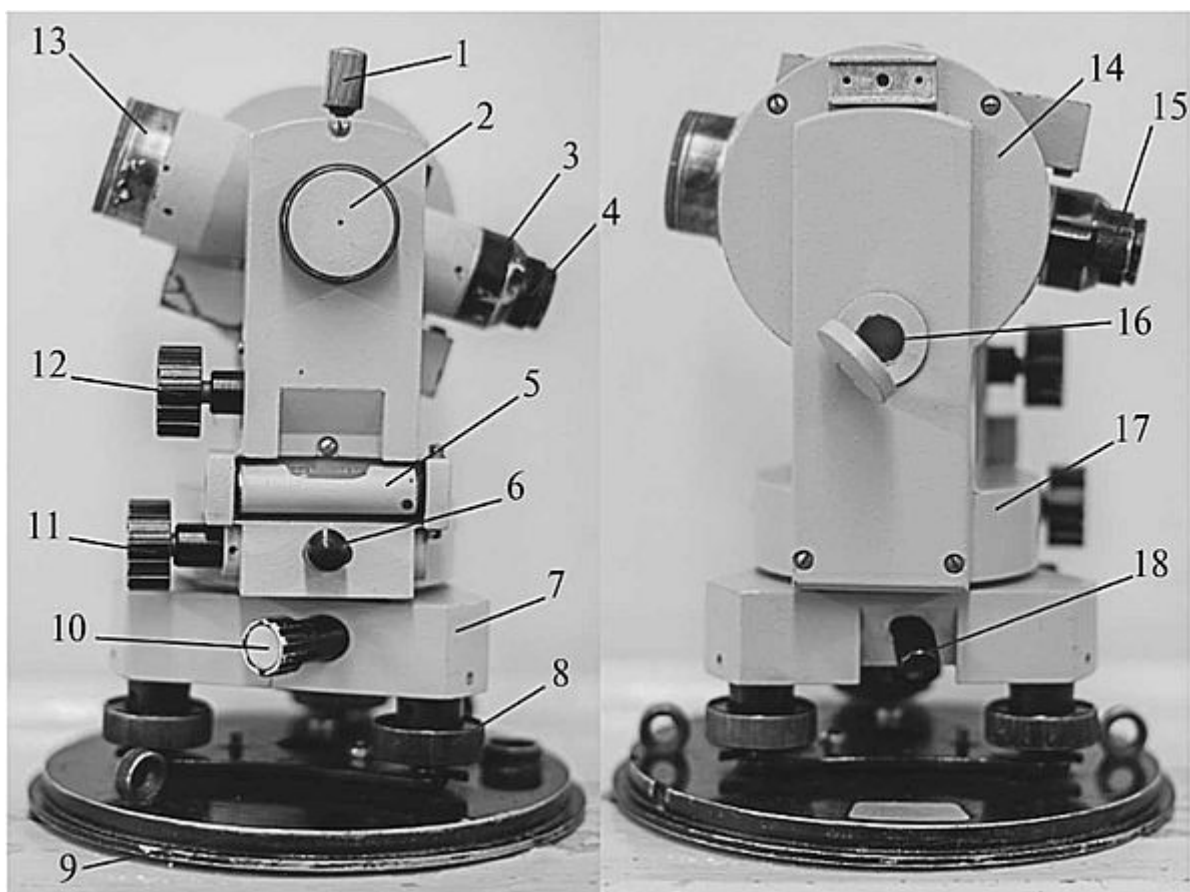


Рис. 46. Теодолит 2Т30



Рис. 47. Штатив

Положение теодолита характеризуется положением вертикального круга относительно зрительной трубы: если труба расположена окуляром к наблюдателю и вертикальный круг находится справа от зрительной трубы, то такое положение называется «круг право» и обозначается КП или /?; если вертикальный круг при этом расположен слева от зрительной трубы, то такое

положение теодолита называют «круг лево» и обозначают КЛ или I. *Поворот трубы через зенит* — вращение трубы в вертикальной плоскости на любой угол (до 360° и более). Если трубу перевести через зенит примерно на 180° , а затем повернуть вокруг вертикальной оси теодолита окуляром к наблюдателю, то положение КП изменится на КЛ, и наоборот.

Схема прибора представлена на рис. 48 в двух проекциях, где оси теодолита обозначены следующим образом:

1) *ось вращения прибора, или главная ось прибора, УУ* — прямая, перпендикулярная плоскости алидады горизонтального круга и проходящая через ее центр;

УУ

IV

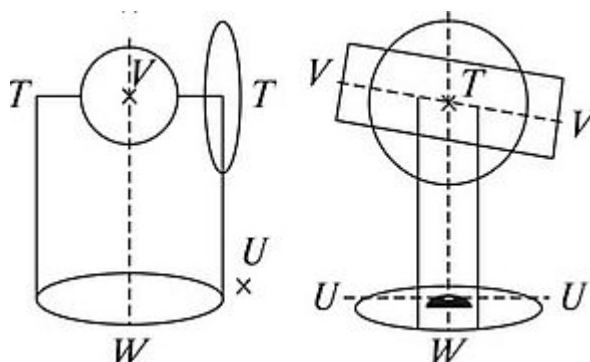


Рис. 48. Оси теодолита

- 2) *ось вращения зрительной трубы ТТ*;
- 3) *визирная ось УУ* — воображаемая прямая, проходящая через оптический центр объектива и центр сетки нитей;
- 4) *ось цилиндрического уровня IШ* — касательная к внутренней поверхности ампулы уровня в нуль-пункте.

Визирная, или коллимационная, плоскость — вертикальная плоскость, проходящая через визирную ось.

УГЛОМЕРНЫЕ КРУГИ

Горизонтальный угломерный круг представляет собой два стеклянных круга, расположенных соосно. На нижнем круге (лимбе) нанесена круговая шкала с делениями через Γ , возрастающими по часовой стрелке от 0 до 360° ; таким образом, *цена деления лимба* составляет Γ . Верхний круг (алидада) содержит дугу окружности в Γ , разделенную на 12 частей; следовательно, цена деления алидады составляет $5'$. Для отсчитывания по угломерным кругам используется *шкаловый микроскоп*, в поле зрения которого с помощью оптической системы передается изображение делений на алидаде и примыкающих к ним делений на лимбе (рис. 5.6). Отсчитывание по горизонтальному кругу выполняется на глаз с точностью $1/10$ цены деления алидады, т.е. с точностью $0,5'$.

Вертикальный круг отличается от горизонтального тем, что его лимб скреплен со зрительной трубой и вращается вместе с ней, а алидада неподвижна, деления на лимбе нанесены от 0° в положительном и отрицательном направлениях. Место нуля (обозначается как МО) — отсчет по вертикальному кругу, когда визирная ось занимает горизонтальное положение и пузырек цилиндрического уровня находится в нуль-пункте [51].

Порядок отсчитывания по угломерным кругам. Для взятия отсчетов по горизонтальному кругу служит нижняя шкала в поле зрения микроскопа (отмечена буквой Г), для отсчетов по вертикальному

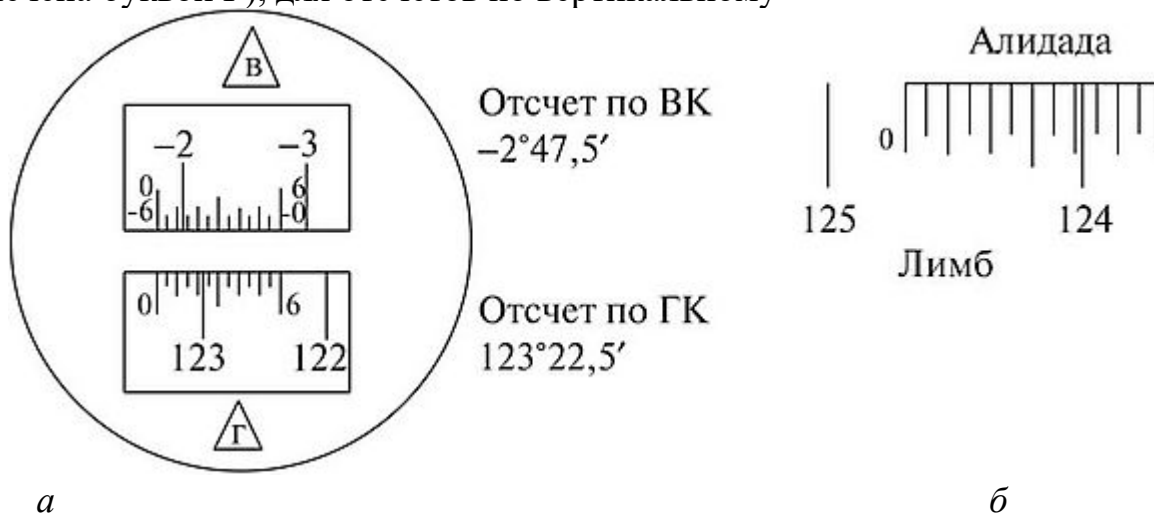


Рис. 49. Поле зрения микроскопа

кругу — верхняя шкала (отмечена буквой В). При отсчитывании по горизонтальному кругу число градусов равно числу градусов штриха на лимбе, попавшего на шкалу, а число минут на алидаде отсчитывается от нуля до этого градусного деления (слева направо). Отсчеты берутся с точностью $0,5'$. Так, на рис.49, б отсчет равен $124^\circ 42,0'$.

Отсчет по вертикальному кругу может быть положительным и отрицательным. Если число градусов положительно, то отсчет берется так же, как и по горизонтальному кругу. Если число градусов со знаком «минус», то число минут отсчитывается справа налево. На рис.49, а отсчет по вертикальному кругу равен $-2^\circ 47,5'$ (в данном случае минуты отсчитываются справа налево).

Может возникнуть вопрос: «Почему не разбит каждый градус на лимбе?» Тогда на алидаде было бы достаточно одного штриха и считывание отсчетов было бы более простым. Ответ состоит в следующем. Если точность измерения углов составляет $30''$, то деления на лимбе должны быть нанесены на порядок точнее, чтобы сделать неощутимым влияние ошибок их положения. Для теодолита 2Т30 угловая ошибка делений лимба не должна превышать величины порядка $3''$. Если принять радиус лимба 100 мм, то линейная ошибка делений лимба не должна превышать

•3

- $-100 \text{ мм} \sim 0,0015 \text{ мм.}$
- 206 265

Следовательно, каждое деление на лимбе нанесено с ошибкой не более 1,5 мкм. Нанесение делений с такой точностью требует существенных затрат времени работы делительной машины. Если бы на лимбе наносили деления через каждые 5', то общее число делений было бы в 12 раз больше и соответствующим образом возросло бы время для их нанесения. Таким образом, разбиение всего одного градусного деления на алидаде на 12 частей незначительно усложняет порядок взятия отсчетов по угломерным кругам, но существенно сокращает затраты времени на их изготовление.

УРОВЕНЬ

Цилиндрический уровень представляет собой стеклянную ампулу цилиндрической формы, внутренняя поверхность которой в вертикальной плоскости является дугой окружности большого радиуса (рис. 5.7). Ампула запаивается с одного конца, в нее заливается подогретый спирт или эфир, после чего запаивается другой конец ампулы. При остывании жидкости образуется безвоздушное пространство, которое называют *пузырьком* цилиндрического уровня.

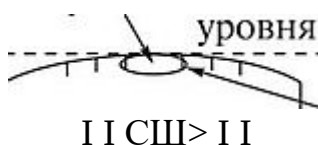


Рис. 50. **Уровень**

Нуль-пункт $0^{C\beta}$ Цилиндрического

Пузырек

Вид

сверху

Сверху ампулы наносится *шкала* с делениями через 2 мм. Среднее деление этой шкалы называют нуль-пунктом. Ось цилиндрического уровня — прямая, касательная к внутренней поверхности ампулы в нуль-пункте. Точность цилиндрического уровня характеризует *цена деления уровня* — центральный угол, опирающийся на дугу окружности, равную одному делению. Чем больше радиус указанной окружности, тем выше чувствительность уровня, тем большее перемещение его пузырька наблюдается при наклонах уровня. Цена деления у различных теодолитов составляет от 10 до 60", у теодолита 2Т30 она равна 45". Из формулы

$$R = \frac{d}{V},$$

где R — радиус окружности; $c' = 2$ мм — длина дуги окружности в одно деление; $V = 45 / 206\,265$ — центральный угол, выраженный в радианах; 206

265 — число секунд в радиане, следует, что радиус дуги окружности цилиндрического уровня теодолита 2Т30 составляет величину порядка

$$R = \frac{2 \text{ мм} \cdot 206\,265}{45}$$

9,2 м.

ЗРИТЕЛЬНАЯ ТРУБА

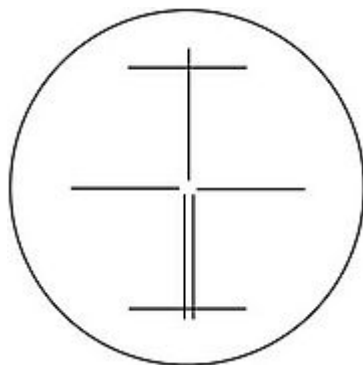


Рис. 51. Сетка нитей сены штрихи, образующие сетку нитей

Труба изучаемого теодолита может быть с обратным изображением и с прямым изображением. В последнем случае теодолит имеет маркировку 2Т30П, где буква П указывает на прямое изображение. Зрительная труба является трубой с *внутренней фокусировкой*. Это означает, что внутри трубы имеется фокусирующая линза, за счет перемещения которой при вращении кремальеры достигается четкое изображение наблюдаемого предмета. В окулярной части имеется диафрагма — металлическое кольцо со стеклянной пластинкой [51].

Центр сетки нитей — точка пересечения горизонтальной и вертикальной нитей. Визирная ось — воображаемая прямая, соединяющая оптический центр объектива и центр сетки нитей. Для более точного наведения на наблюдаемые цели при измерении горизонтальных углов предназначен биссектор — двойная вертикальная нить. Верхняя и нижняя горизонтальные нити являются дальномерными нитями, предназначенными для измерения расстояний.

Основные характеристики зрительной трубы — увеличение и поле зрения трубы. *Увеличение V трубы* — отношение угла, под которым виден предмет в трубе, к углу, под которым предмет виден без трубы, или отношение числа делений на рейке $V = m / n$, если рейку одновременно рассматривать одним глазом через зрительную трубу и другим невооруженным глазом. *Поле зрения трубы* — видимое в трубу пространство при ее неподвижном положении. Теодолит 2Т30 имеет трубу с 20-кратным увеличением (что обозначается как

20^x) и полем зрения 2°. Точность визирования (наведения на цель) при измерении углов данным теодолитом определяется соотношением

$$\Gamma = 60'' / V = 3'',$$

где 60'' — разрешение человеческого глаза; V — увеличение зрительной трубы.

При измерении углов *установка трубы для наблюдений* заключается в ее установке по глазу и установке по предмету. Вначале выполняется *установка трубы по глазу*, которая заключается в получении четкого изображения сетки нитей вращением диоптрийного кольца. После этого осуществляется *установка трубы по предмету* — получение четкого изображения наблюдаемого предмета с помощью кремальеры. При установке трубы для наблюдений следует стремиться к отсутствию параллакса. Параллакс сетки нитей — несовпадение плоскости изображения с плоскостью сетки нитей. Если параллакс сетки нитей имеет место, то при перемещении глаза наблюдателя относительно окуляра (вверх — вниз или влево — вправо) будет происходить смещение изображения наблюдаемой точки относительно сетки нитей. Наличие параллакса снижает точность измерения углов. Исключить параллакс можно с помощью диоптрийного кольца.

ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКИ ТЕОДОЛИТА

Как измерительный прибор теодолит должен отвечать определенным требованиям, или условиям. Проверка выполнения таких геометрических условий называется поверкой. Описание каждой поверки состоит из четырех логических частей:

- 1) формулировки условия, которое должно выполняться;
- 2) описания действий, необходимых для проверки выполнения условия;
- 3) допустимого отклонения от выполнения условия;
- 4) описания действий, которые необходимо выполнить для юстировки — приведения прибора в должное состояние.

Поверки теодолита должны выполняться в следующей последовательности.

- 1. *Поверка установки уровня.* (Перед выполнением данной поверки рекомендуется привести алидаду горизонтального круга в горизонтальное положение, что описывается далее.) Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна вертикальной оси прибора (оси вращения алидады, или главной оси прибора). Для выполнения данной поверки цилиндрический уровень устанавливают параллельно любым двум подъемным винтам и, вращая их в противоположные стороны, приводят его пузырек в нуль-пункт. (При этом пузырек уровня перемещается в сторону того подъемного винта, что вращается против часовой стрелки.) Затем поворачивают алидаду (и находящийся на ней цилиндрический уровень) на 180°. Если отклонение

пузырька от нуля-пункта при этом не более одного деления, то условие выполняется. Если отклонение больше указанного допуска, то пузырек перемещают на одну половину *дуги отклонения* его от нуля-пункта с помощью тех же двух подъемных винтов, а на другую половину дуги отклонения — с помощью исправительных винтов уровня (один из винтов при этом должен вывинчиваться, а другой — ввинчиваться). Назначение исправительных винтов уровня в этом и заключается: с их помощью изменяется угол между осью цилиндрического уровня и осью вращения прибора. Таким образом, исправительные винты цилиндрического уровня нужны только на время выполнения поверки. После юстировки (исправления положения уровня с помощью исправительных винтов) поверка повторяется.

•2. *Поверка правильности установки сетки нитей.* Горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна оси вращения прибора. Другая формулировка этого условия — «горизонтальная нить должна быть горизонтальна, а вертикальная — вертикальна» — является не совсем корректной.

Поверка может быть выполнена двумя способами. Первый способ заключается в том, что теодолит *горизонтируют* (с помощью подъемных винтов приводят ось вращения в вертикальное положение), в 10—15 м от него вешают нитяной отвес и наводят вертикальную нить сетки нитей на нить отвеса. Если они совпадают, то условие считается выполненным. В противном случае снимают защитный колпачок сетки нитей, ослабляют закрепительные винты сетки нитей и поворачивают ее в своей плоскости до совпадения вертикальной нити сетки нитей с нитью отвеса.

Для выполнения данной поверки вторым способом нет необходимости приведения оси вращения теодолита в вертикальное положение. Среднюю нить сетки нитей наводят на какую-либо удаленную точку. При вращении наводящего винта алидады нить не должна сходить с выбранной точки. Если нить сходит, то, как и в первом способе, ослабляют закрепительные винты сетки нитей и разворачивают ее в своей плоскости.

После юстировки сетки нитей защитный колпачок устанавливают на место и поверку повторяют.

3. *Поверка положения визирной оси.* Визирная ось должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы. Таким образом, угол между визирной осью и осью вращения трубы должен составлять 90° . Если данное условие не выполняется, то при повороте зрительной трубы вокруг ее оси вращения визирная ось будет описывать поверхность конуса (рис. 52, а), а должна описывать плоскость, как это следует из принципа измерения горизонтальных углов. Отклонение угла между визирной осью и осью вращения трубы от 90° называют коллимационной ошибкой и обозначают строчной латинской буквой *c*.

На рис. 52, б визирная ось OU_x трубы не перпендикулярна оси вращения трубы TT и наведена на некоторую точку *A*. Если зрительную трубу перевести

через зенит, то визирная ось займет положение OU_2 . Чтобы после этого навести зрительную трубу на ту же точку A , алидаду нужно повернуть на угол $180^\circ - 2c$.

m

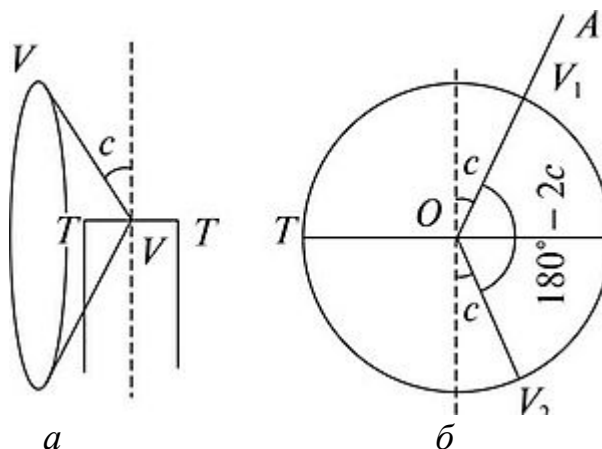


Рис. 52. Коллимационная ошибка: *a* — вид сбоку; *b* — вид сверху

Для определения коллимационной ошибки вертикальную нить сетки нитей наводят на хорошо различимую удаленную точку примерно на высоте прибора и берут отсчет по горизонтальному кругу. Затем трубу переводят через зенит и при неподвижном лимбе горизонтального круга (т.е. не трогая его винтов) вновь наводят ее на ту же точку и берут отсчет по горизонтальному кругу при другом положении вертикального круга. Таким образом, мы будем иметь два отсчета по горизонтальному кругу, которые обозначим соответственно как КЛ и КП. Тогда коллимационная ошибка c вычисляется по формуле

$$c = \text{КЛ} - \text{КП} \pm 1802$$

Допустимое значение коллимационной ошибки — удвоенная погрешность измерения горизонтальных углов, следовательно, для теодолита 2Т30 оно составит Г. Если интерес представляет правильное значение отсчета на некоторую точку, то оно может быть вычислено по формуле

$$a = \text{КЛ} - c \text{ или } a = \text{КП} + c.$$

Если значение коллимационной ошибки превышает установленный допуск, то вычисляется среднее значение минут из отсчетов КЛ и КП, и с помощью наводящего винта алидады устанавливается вычисленное значение. При этом в поле зрения зрительной трубы вертикальная нить сетки нитей сместится с изображения выбранной точки, поэтому снимают защитный колпачок сетки нитей и, слегка ослабив вертикальные исправительные винты, с помощью боковых исправительных винтов сетки нитей добиваются совмещения вертикальной нити с выбранной точкой, после чего вертикальные

исправительные винты сетки нитей закрепляют, защитный колпачок устанавливают на место и поверку повторяют.

4. *Поверка равенства подставок.* Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна вертикальной оси теодолита. Данное условие называют также условием *равенства подставок трубы (колонок)*. Если данное условие не выполняется, то при вращении зрительной трубы вокруг ее оси визирная ось будет описывать плоскость, но не вертикальную, а наклонную (рис. 5.10). Но как следует из принципа измерения горизонтальных углов (см. рис. 5.1), визирная плоскость должна занимать вертикальное положение.

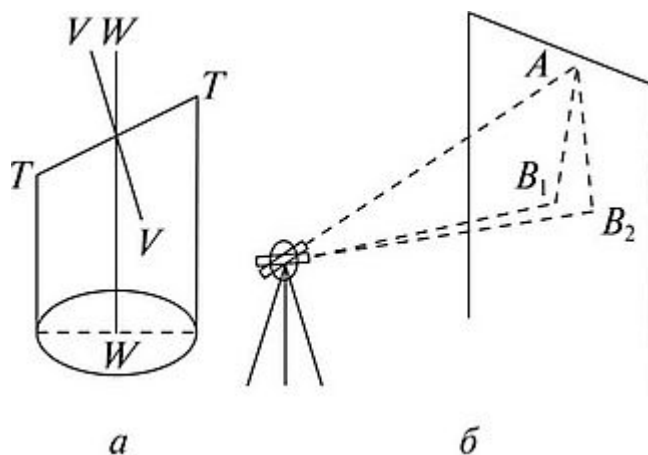


Рис. 53. Неравенство подставок трубы

Для выполнения данной поверки теодолит устанавливают в 20—30 м от высокой стены (см. рис. 53), выбирают на ней высоко расположенную и хорошо различимую точку *A*, наводят на нее вертикальную нить, после чего проектируют точку на уровень прибора при двух положениях вертикального круга. Если проекции и *B₂* точки *A* совпадают, то условие выполняется. Если проекции не совпадают, то устранить неравенство подставок можно только в заводских условиях либо в специальных мастерских. Хотя фирмы-изготовители гарантируют выполнение данного условия, поверка должна выполняться обязательно.

5. *Ось визира должна быть параллельна визирной оси.* Зрительную трубу с помощью визира наводят на некоторую точку и проверяют ее видимость в поле зрения трубы. Если изображение точки в поле зрения трубы отсутствует, то визир разворачивают соответствующим образом [52].

УСТАНОВКА ТЕОДОЛИТА В РАБОЧЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Перед измерением горизонтальных и вертикальных углов теодолит должен быть приведен в *рабочее положение*, что означает последовательное выполнение следующих действий:

- 1) *центрирование* теодолита — совмещение вертикальной оси прибора с отвесной линией, проходящей через центр геодезического пункта, т.е. установка центра угломерного горизонтального круга над

вершиной измеряемого горизонтального угла, осуществляется с помощью нитяного отвеса (ошибка центрирования при этом составляет 3—5 мм) или оптического отвеса (ошибка порядка 0,5—1,0 мм). Иначе можно сказать, что центрирование прибора заключается в совмещении его главной оси с отвесной линией, проходящей через вершину измеряемого угла;

- 2) *горизонтирование* — совмещение вертикальной оси прибора с отвесной линией, или иначе приведение горизонтального угломерного круга в горизонтальное положение, осуществляется с помощью подъемных винтов и цилиндрического уровня. Подъемные винты служат для изменения положения угломерного круга относительно отвесной линии. Цилиндрический уровень служит для контроля положения угломерного круга относительно отвесной линии.

Для горизонтирования прибора цилиндрический уровень устанавливают параллельно любым двум подъемным винтам, назовем это положение *положением 1*. С помощью указанных винтов приводят его пузырек на середину. После этого поворачивают алидаду на 90° в любую сторону (назовем это положение *положением 2*) и с помощью третьего подъемного винта приводят пузырек в нуль-пункт. Затем проверяют пузырек в первоначальном положении 1 и т.д. При установке алидады в любое положение относительно ее начального положения пузырек цилиндрического уровня не должен отклоняться от нуль-пункта более чем на 1 деление;

- 3) *установка зрительной трубы по глазу* — получение четкого изображения сетки нитей — осуществляется вращением диоптрийного кольца зрительной трубы;

- 4) *установка трубы по предмету* — получение четкого изображения наблюдаемого предмета — осуществляется вращением кремальеры;

- 5) *установка микроскопа по глазу* — получение четких изображений шкал горизонтального и вертикального кругов — достигается с помощью диоптрийного кольца микроскопа.

ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ СПОСОБОМ ПРИЕМОВ

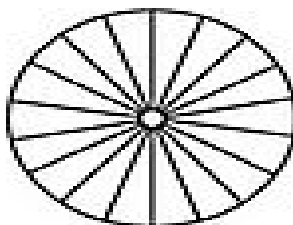
Существует несколько способов измерения горизонтальных углов: способ приемов, способ круговых приемов, способ повторений, способ всех комбинаций. Наиболее простым и распространенным является способ приемов. *Способ круговых приемов* используется тогда, когда на одной точке требуется измерить несколько углов. *Способ повторений* рекомендуется использовать, если точность теодолита недостаточна и требуется измерить угол с более высокой точностью. Измерение горизонтального угла способом повторений может быть выполнено только повторительным теодолитом. *Способ комбинаций* характеризуется трудоемкостью и

применяется только при высокоточных измерениях нескольких углов в одной точке, когда ошибки измерения углов должны находиться в пределах 1".

Измерение угла способом приемов состоит в его измерении двумя полуприемами. Каждый полуприем заключается в выполнении следующих действий:

- 1) наведение вертикальной нити сетки нитей на правую визирную цель;
- 2) взятие отсчета a , по горизонтальному кругу;
- 3) запись в журнал отсчета a ;
- 4) наведение вертикальной нити сетки нитей на левую визирную цель;
- 5) взятие отсчета b_l по горизонтальному кругу;
- 6) запись в журнал отсчета b_l ;
- 7) вычисление значения горизонтального угла $= a_l - b_l$.

Визирные цели представляют собой предмет или устройство, на которое наводят зрительную трубу.



Вид сверху

Рис. 54. Визирный цилиндр

При наблюдении на пункты триангуляции визирной целью обычно является *малофазный визирный цилиндр* (рис. 54) геодезического знака. На данном рисунке представлено изображение, видимое в поле зрения трубы теодолита с прямым изображением. Вертикальную нить сетки нитей при этом наводят на воображаемую ось симметрии визирного цилиндра. При наблюдении на точки теодолитного хода в качестве визирных целей используют вертикально устанавливаемые на этих точках веши или шпильки из комплекта мерного прибора для измерения расстояний.

После измерения угла первым полуприемом изменяют положение лимба. Изменить положение лимба горизонтального угломерного круга можно двумя способами:

- 1) сделать 2—3 оборота наводящим винтом лимба, положение лимба при этом может измениться на 2—3°;
- 2) при закрепленном закрепительном винте алидады открепить закрепительный винт лимба, повернуть лимб на произвольный угол (рекомендуется примерно на 90°), закрепить закрепительный винт лимба.

После выполнения описанных действий трубу переводят через зенит и выполняют измерение угла вторым полуприемом (при другом положении

вертикального круга). Вычисление значения горизонтального угла из второго полуприема осуществляется аналогичным образом:

$$P_2 = p_2 - b_2.$$

Таким образом, угол будет измерен дважды. Результаты измерения угла двумя полуприемами соответственно равны p_1 и p_2 . P_{ac} –

хождение значений угла из двух полуприемов не должно превышать удвоенной погрешности измерения угла данным теодолитом, т.е. должно выполняться условие

$$|p_1 - p_2| < 2\Gamma,$$

где t — среднеквадратическая погрешность измерения угла одним приемом. Для теодолита 2ТЗ0 данный допуск составляет Γ .

Измерение углов двумя полуприемами осуществляется в целях:

- 1) *контроля измерений*;
- 2) *повышения точности измерений*: ошибка среднего значения из нескольких измерений всегда меньше ошибки отдельного измерения.

Результаты измерения горизонтальных углов фиксируются в соответствующем журнале (табл. 5).

Таблица 5.

Журнал измерения горизонтальных углов

№ точки стояния	№ точки визиро- вания	Отсчеты по горизонтальному кругу		Значение угла в полуприеме		Среднее значение угла		Приме чание
		о	/	о	/	о		
7	6	134	42,5	111	28,5	111	28,2	
	8	23	14,0					
	6	316	07,0	111	28,0			
	8	204	39,0					
8	7	250	52,5	182	40,0	182	39,5	
	9	68	12,5					
	7	72	35,0	182	39,0			
	9	249	56,0					

При измерении горизонтальных углов важно понимать различие между наводящими винтами лимба и алидады. При вращении любого из этих винтов зрительная труба поворачивается в горизонтальной плоскости, или, как говорят, «по горизонту». Хотя со стороны действия наблюдателя при этом кажутся совершенно одинаковыми, различие между ними принципиальное. Если лимб закреплен и наведение зрительной трубы на различные точки осуществляется только с помощью винтов алидады, то отсчеты будут различаться, так как лимб при этом остается неподвижным. Если действовать противоположным образом, т.е. закрепить алидаду, и при наведении трубы на различные точки использовать только винты лимба, отсчет на любые точки будет один и тот же, так как лимб и находящаяся на нем алидада со зрительной трубой будут поворачиваться вместе с лимбом как единое целое.

Отсюда следует, что если при измерении горизонтального угла трубу навели на правую точку и взяли отсчет, а при наведении на левую точку случайным образом повернули наводящий или закрепительный винт лимба, то дальнейшие действия выполнять не имеет смысла, так как нулевой диаметр горизонтального круга изменит свое положение. И в таком случае необходимо начинать выполнение полуприема заново.

Путаница между винтами лимба и винтами алидады является наиболее распространенной ошибкой начинающих изучение теодолита.

Если точность измерения углов одним приемом с помощью имеющегося теодолита несколько ниже требуемой, то возможны два варианта действий:

- • воспользоваться теодолитом более высокой точности;
- • измерять угол не одним приемом, а n приемами. Тогда в качестве окончательного значения угла берется среднее из n приемов, среднеквадратическая погрешность M измерения угла при этом будет равна

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}},$$

где m — среднеквадратическая погрешность измерения угла одним приемом.

Следует обратить внимание, что погрешность многократного измерения угла убывает пропорционально квадратному корню из числа измерений. Например, чтобы уменьшить ошибку измерения угла в 3 раза, необходимо измерить угол девятью приемами. Поэтому многократное измерение угла в целях повышения точности измерений оправдано только тогда, когда требуемая точность незначительно отличается от точности используемого прибора.

ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ СПОСОБОМ ПОВТОРЕНИЙ

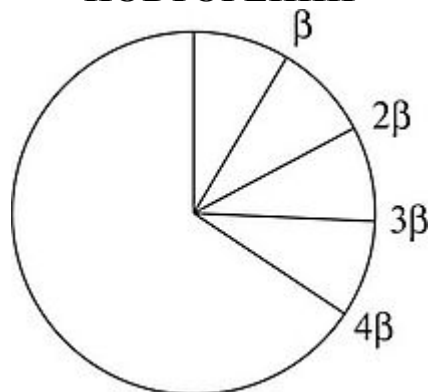


Рис. 55. Способ повторений

Если точность измерения углов имеющимся теодолитом ниже требуемой, то альтернативой многократному измерению угла способом приемов может служить измерение углов способом повторений. В основе способа лежит многократное откладывание на лимбе измеряемого угла P (рис. 55), что дает возможность ослабить влияние ошибок взятия отсчетов.

Измерение угла способом повторений распадается на два полуприема, в каждом из которых выполняется одно и то же число повторений. Измерение угла одним полуприемом при этом складывается из следующих действий.

Закрепляют лимб, открепляют алидаду и, вращая ее, устанавливают на лимбе отсчет a_x , близкий к 0° , например $0^\circ 10,0'$. Закрепляют алидаду и с помощью винтов лимба наводят вертикальную нить сетки нитей на левую точку. Открепляют алидаду и наводят нить на правую точку. (После этого для контроля можно взять приближенный отсчет по горизонтальному кругу. Допустим, что в нашем случае он оказался равным $3^\circ 07,0'$.) Таким образом, измеряемый угол уже отложен один раз. После этого при закрепленной алидаде с помощью винтов лимба трубу наводят вновь на левую точку, закрепляют лимб, открепляют алидаду и наводят трубу на правую точку. Следовательно, измеряемый угол после этого будет отложен дважды. Аналогичным образом выполняют нужное число повторений, после чего берут отсчет b_x по горизонтальному кругу. Значение угла (β , из первого полуприема находят делением разности отсчетов на число повторений:

$$\beta_1 = \frac{b_1 - a_1}{n}$$

Пусть, например, было выполнено четыре повторения, и отсчет b_x на правую точку равен $124^\circ 34,0'$. Тогда значение угла (β , при заданных условиях будет равно

Для выполнения второго полуприема трубу переводят через зенит и производят аналогичные действия с той разницей, что угол при этом откладывается влево. В частности, с помощью винтов алидады наводят трубу на правую точку и берут отсчет b_2 . Открепляют алидаду и наводят трубу на левую точку, после чего угол будет отложен один раз. Далее открепляют лимб

и с помощью его винтов наводят трубу на правую точку. Открепляют алидаду и наводят трубу на левую точку, после чего угол будет отложен два раза. Подобным же образом выполняют нужное число повторений и берут отсчет a_2 на левую точку. Значение угла (β_2 из второго полуприема находят по формуле

$$\beta_2 = \frac{b_2 - a_2}{n}.$$

Если отсчет P_2 меньше a_2 , то к нему прибавляют 360° . В качестве окончательного значения измеренного угла берут среднее значение из двух полуприемов.

Преимущество данного способа измерения угла перед многократным измерением угла способом приемов заключается в том, что он характеризуется меньшей трудоемкостью, так как требуется брать меньше отсчетов. Кроме того, нужная точность достигается быстрее, чем при многократном измерении угла способом приемов. Недостаток состоит в том, что при его использовании требуется повышенное внимание при работе с винтами алидады и лимба. Если они случайно перепутаны, то прием (с соответствующим числом повторений) приходится повторять заново [53].

ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ СПОСОБОМ КРУГОВЫХ ПРИЕМОМ

Способ круговых приемов, называемый также *способом Струве*, применяется в тех случаях, когда на одной точке требуется измерить горизонтальные углы между несколькими направлениями. Необходимость в этом возникает, например, при измерениях на пунктах триангуляционных построений, а также при измерении двух примычных углов и внутреннего угла в начальной точке замкнутого теодолитного хода.

Пусть на пункте L требуется измерить горизонтальные углы между направлениями на точки B , C , I и E способом круговых приемов (рис. 56). Теодолит приводят в рабочее положение, после чего выполняют следующие действия.

1. Выбирают направление на хорошо видимый удаленный пункт в качестве *начального*. Пусть это будет точка B . При закрепленном лимбе наводят на нее зрительную трубу и берут отсчет по горизонтальному кругу.

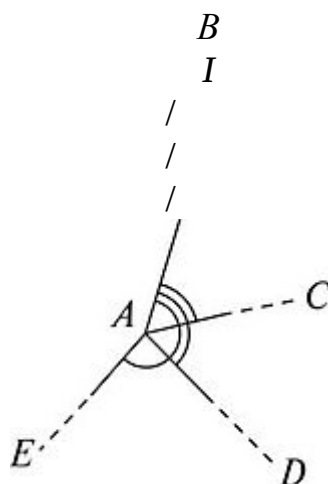


Рис. 56. Несколько направлений на точки B , C , O , E

- 2. После чего, поворачивая алидаду только по часовой стрелке, последовательно наводят трубу на точки C , I и E и берут соответствующие отсчеты по горизонтальному кругу.
- 3. Продолжая поворачивать алидаду по часовой стрелке, вновь наводят трубу на начальный пункт и берут отсчет по горизонтальному кругу. Данное действие называется *замыканием горизонта*, его целью является контроль положения нулевого диаметра лимба (при большом числе направлений возможно изменение его положения, которое наблюдатель может не заметить). Допустимое расхождение между отсчетами на начальный пункт не должно превышать $2'$ — удвоенную погрешность измерения угла. Совокупность описанных действий составляет один полуприем способа круговых приемов.
- 4. Переводят трубу через зенит, наводят трубу на начальный пункт и берут отсчет.
- 5. Поворачивая алидаду только против часовой стрелки, последовательно наводят зрительную трубу на пункты E , I , C и берут отсчеты на каждый из них.
- 6. Наконец, продолжая поворачивать алидаду против часовой стрелки, наводят зрительную трубу на начальный пункт и берут отсчет, т.е. вновь выполняют замыкание горизонта. Последние действия образуют второй полуприем.

Пример измерения горизонтальных углов способом круговых приемов приводится в табл. 6.

№ точки стояния	№ точки наблюдения	Отсчеты по горизонтальному у кругу		Средние из отсчетов	Приведенные направления	2с = КЛ - КП
		КЛ	КП			
		О /	О /	о /	О /	/
1	2	3	4	5	6	7
<i>A</i>	<i>B</i>	0 20,5 (1)	180 20,0 (10)	0 20,0 (16) 0 20,2 (11)	0 00,0 (17)	+0,5 (21)
	<i>C</i>	48 34,5 (2)	228 35,5 (9)	48 35,0 (12)	48 15,0 (18)	-1,0 (22)
	<i>й</i>	98 07,0 (3)	278 06,5 (8)	98 06,8 (13)	97 46,8 (19)	+0,5 (23)
	<i>E</i>	210 44,5 (4)	30 45,0 (7)	210 44,8 (14)	210 24,8 (20)	-0,5 (24)
	<i>B</i>	0 19,5 (5)	180 20,0 (6)	0 19,8 (15)		-0,5 (25)

Примечание. В скобках в каждой графе справа указан порядок действия.

- 7. Для каждого направления вычисляют (в гр. 5) среднее число минут из отсчетов при КЛ и КП, число градусов при этом принимается равным числу градусов при КЛ.
- 8. Находят среднее значение отсчета на начальный пункт из средних отсчетов в начале и конце каждого полуприема (вверху гр. 5).
- 9. Определяют значения так называемых *приведенных направлений* (гр. 6), вычитая из каждого среднего значения направления среднее значение начального направления.
- 10. Вычисляют значения коллимационной ошибки для каждого направления (гр. 7), что служит дополнительным контролем измерения углов. Значение коллимационной ошибки не должно быть больше $2t$.

Журнал измерения горизонтальных углов способом круговых приемов Для того чтобы повысить точность измерений, углы могут измеряться

несколькими круговыми приемами. При этом между отдельными приемами лимб должен переставляться на угол, равный примерно величине $180^\circ/n$, где n — число приемов. Контроль выполненных измерений углов осуществляется сравнением приведенных направлений в различных приемах между собой; расхождения указанных значений также не могут превышать $2t$, в противном случае приемы с наиболее отклоняющимися значениями приведенных направлений должны быть повторены.

ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ

Ошибка измерения горизонтального угла есть результат суммирования нескольких ошибок: ошибки центрирования, ошибки редукции, ошибки наведения, ошибки, вызванной поворотом лимба, ошибки отсчитывания по угломерному кругу, ошибки среды, инструментальных ошибок.

- 1. *Ошибка центрирования* есть ошибка, обусловленная несовпадением центра горизонтального угломерного круга с отвесной линией, проходящей через вершину измеряемого угла.

- 2. *Ошибка редукции* — ошибка, вызванная несовпадением визирной цели (вехи, визирного цилиндра и т.п.) с центром геодезического пункта или закрепленной на местности точкой.

- 3. *Ошибка наведения* вызвана неточным наведением вертикальной нити сетки нитей на визирную цель. Для ее уменьшения рекомендуется использовать биссектор (рис. 57), так как человеческий глаз достаточно остро чувствует несимметричность, и при этом наведение на визирную цель (визирный цилиндр, вешку и т.п.) осуществляется точнее, чем при использовании одинарной вертикальной нити.

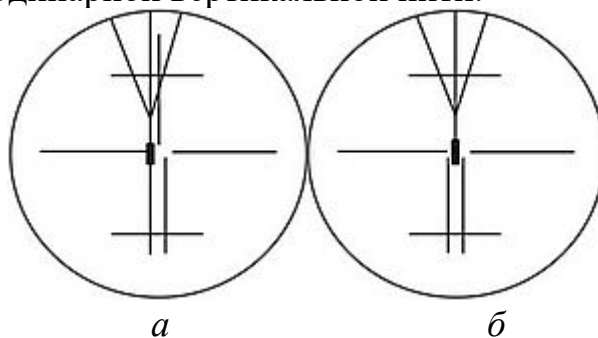


Рис. 57. Использование биссектора: *a* — неправильное; *б* — правильное

Кроме того, чтобы уменьшить ошибку редукции при использовании вех и т.п. визирных целей, необходимо наводить вертикальную нить сетки нитей на самую нижнюю видимую часть визирной цели.

- 4. *Ошибка, вызванная поворотом лимба*, объясняется тем, что, поворачивая алидаду, мы прилагаем определенное усилие ко всему располагающемуся на штативе прибору, в результате чего он может поворачиваться по горизонту на некоторый угол. Хотя его величина ничтожно мала, при высокоточных угловых измерениях она может быть ощутимой. Отсюда следует, что штатив должен иметь жесткую

конструкцию и он должен прочно устанавливаться на земной поверхности.

- 5. *Ошибка отсчета* — ошибка исполнителя при отсчитывании по горизонтальному кругу.

- 6. *Ошибка среды* является следствием *горизонтальной рефракции* — искривления светового луча в горизонтальной плоскости.

- 7. *Инструментальные ошибки* подразделяются:

- о • на *ошибки делений лимба'*,

- о • *ошибки, вызванные эксцентриситетом лимба горизонтального круга* — несовпадением центра лимба с центром кольца делений на нем;

- о • *ошибки, обусловленные эксцентриситетом алидады* — несовпадением ее центра с центром лимба;

- *ошибки хода фокусирующей линзы,*

- *ошибки, возникающие из-за параллакса сетки нитей.* Параллакс сетки нитей возникает при неудовлетворительной фокусировке зрительной трубы, когда изображение визирной цели не совпадает с плоскостью сетки нитей. При наличии параллакса изменение положения глаза наблюдателя относительно сетки нитей сопровождается смещением изображения визирной цели относительно сетки нитей.

-

ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

Вертикальный угол — угол между визирной осью и горизонтальной плоскостью. Измерение вертикальных углов осуществляется в целях определения:

- горизонтальных проложений линий на земной поверхности;

- превышений между точками земной поверхности.

Перед измерением вертикальных углов теодолит приводится в рабочее положение. Порядок измерения собственно вертикального угла заключается в выполнении следующих действий:

- 1) средняя нить сетки нитей наводится на визирную цель;

- 2) проверяется положение пузырька цилиндрического уровня;

- 3) если пузырек отклонился, то с помощью подъемного винта, расположенного в направлении данной линии, он приводится в нуль-пункт;

- 4) с помощью наводящего винта зрительной трубы средняя нить вновь наводится на точку, например на верх визирного цилиндра (на рис. 5.15 представлено изображение в поле зрения трубы теодолита с прямым изображением);

- 5) берется отсчет по вертикальному кругу.

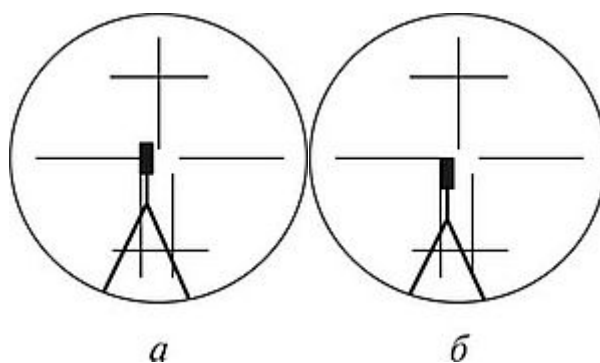


Рис. 58. Наведение на цель при измерении вертикального угла:
а — неправильное; *б* — правильное

После этого зрительная труба переводится через зенит, и описанные действия повторяются при другом положении вертикального круга. Таким образом, мы будем иметь два отсчета по вертикальному кругу, которые обозначим соответственно как КЛ и КП. Результаты измерения вертикальных углов записываются в полевой журнал, образец которого приведен в табл.8.

В целях *контроля* измерений вертикального угла вычисляется место нуля. *Место нуля* — это отсчет по вертикальному кругу, когда визирная ось трубы находится в горизонтальном положении, а пузырек цилиндрического уровня — в нуль-пункте. Формула для вычисления МО зависит от того, как нанесены деления на вертикальном угломерном круге. Для различных марок теодолитов данные формулы различаются, для теодолита 2Т30 место нуля вычисляется по формуле

$$\text{МО} = \text{КП} + \text{КЛ} : 2$$

Если *колебание* МО не превышает удвоенной погрешности измерения углов, т.е. выполняется условие

$$\frac{\text{МО}}{d} \leq 2t,$$

то измерение вертикального угла считается удовлетворительным и вычисляется значение вертикального угла по одной из следующих формул:

$$\begin{aligned} V &= \text{КЛ} - \text{МО}; \\ V &= \text{МО} - \text{КП}; \\ \text{КЛ} - \text{КП} & \div 2 \end{aligned}$$

Таблица 8

Журнал измерения вертикальных углов

№ то чки	№ то чки	Отсчеты по вертикальному кругу		МО	Вертика льный угол
		КЛ	КП		

ст ояния	ви зиро- ва ния		/		/		/	о	/
7	6		1 7,5	1	2 1,5	0	2 ,0	+	1 9,5
7	8	2	3 2,0		2 9,0	0	1 ,5	-	3 0,5

Хотя в примере из табл. 8 значение МО составляет заметную величину, вертикальный угол при этом измерен вполне удовлетворительно, так как *колебание* значения МО не больше удвоенной погрешности измерения угла. Следует обратить внимание на то, что *контроль измерения вертикальных углов* осуществляется только по стабильности МО. Хотя большое значение самого места нуля в некоторых случаях влечет определенные неудобства, в принципе допустимо *любое* значение МО.

ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

К ошибкам измерения вертикальных углов относятся:

- 1) *ошибка наведения* на визирную цель;
- 2) *ошибка приведения пузырька* цилиндрического уровня в нуль-пункт; при измерении вертикальных углов за положением пузырька цилиндрического уровня необходимо следить более тщательно, чем при измерении горизонтальных углов;
- 3) *ошибка отсчитывания* по вертикальному кругу;
- 4) *инструментальные ошибки*:
 - о • *ошибки делений* на лимбе вертикального круга;
 - о • *эксцентриситет лимба* вертикального круга — несовпадение центра вращения лимба с центром кольца делений;
 - о • *эксцентриситет алидады* вертикального круга — несовпадение центра вращения алидады с центром лимба;
 - о • *ошибка хода* фокусирующей линзы;
 - о • *ошибка, вызванная параллаксом* изображения;
- 5) *ошибка, вызванная вертикальной рефракцией*;
- 6) *ошибка, вызванная кривизной Земли*.
-

Значение геодезии при выполнении других строительных работ

Геодезические работы в строительстве представляют собой комплекс измерений, вычислений и построений на местности, при котором должно обеспечиваться проектное размещение сооружений с необходимой точностью и возведение их конструкций (элементов) в полном соответствии с геометрическими их параметрами и требованиями нормативных документов. Решение указанных задач осуществляется в соответствии с этапами строительно-монтажного производства [45-48].

Перед началом строительства проводят ряд организационно-технических мероприятий, которые должны обеспечить плановые показатели строительства с соблюдением требуемой технологии и последовательности работ. Строительство может быть начато только после отвода на местности контура участка работ и создания разбивочной геодезической основы, предусматривающей не только выполнение разбивочных работ, но и необходимые наблюдения за деформациями строящегося объекта и сооружений, которые попадают в зону влияния строительства.

При подготовке к строительству изучают проектную документацию, которая содержит стройгенпланы для подготовительного и основного этапов строительства и пояснительную записку. Стройгенпланы обязательно содержат ситуационные планы с нанесенными на них знаками планово-высотной геодезической основы. В пояснительной записке имеются указания о методах выполнения инструментального контроля за качеством ведения строительных работ, сроках и объёмах производства геодезических и маркшейдерских (для объектов шахтного строительства) работ. Устанавливается потребность на те или иные инструменты, использование которых позволит обеспечить с необходимой точностью все планируемые инженерно-геодезические работы.

В связи с тем, что нормативные документы не могут в полной мере регламентировать строительство различных инженерных сооружений, каждый проект является индивидуальным как для строительной организации, так и для геодезической службы.

Геодезическая служба строительно-монтажной организации производит приёмку главной геодезической разбивочной основы: надёжность её закрепления в натуре; обеспеченность геодезическими знаками для всех запланированных работ; при необходимости принимает решение о сгущении главной геодезической основы и др. Геодезическая служба осуществляет совместно с техническим отделом приёмку от заказчика проектной документации, даёт по ней замечания, касающиеся несоответствий геометрических параметров запроектированного сооружения, принимает участие в выносе и закреплении главных и основных осей сооружения, выполняет детальные разбивки в процессе строительства, производит периодический геодезический контроль за неизменностью положения геодезических пунктов разбивочной основы, выполняет восстановление

геодезических знаков при их утрате либо установку дублирующих знаков для обеспечения сохранности главных или основных осей.

Геодезические работы в строительстве выполняются в несколько последовательных этапов [54].

При выборе площадки под строительство геодезическая служба собирает, анализирует и обобщает материал, касающийся обеспечения строительства геодезической основой: наличие и состояние геодезических пунктов и реперов нивелирной сети; необходимое количество пунктов и т.п. На этапе строительного проектирования проводятся топографо- геодезические изыскания и геодезическое обеспечение других видов изысканий. На подготовительном этапе строительства производится построение геодезической разбивочной основы, инженерная подготовка территории (планировочные работы, прокладка подъездных дорог и подземных коммуникаций), вынос в натуру главных и основных осей. На этапе основного периода строительства производится вынос в натуру осей конструктивных элементов, геометрическое обеспечение строительно- монтажного производства, исполнительная съёмка законченных строительством элементов и составление соответствующей документации. При окончании строительства составляется и сдается технический отчёт о результатах выполненных геодезических работ, составляется исполнительный генплан, специальные исполнительные инженерные планы, профили и разрезы.

Геодезические работы при строительстве гидротехнических сооружений

Для выполнения комплекса работ при строительстве гидротехнических сооружений разбивают плановое и высотное геодезическое обоснование. При проектировании водохранилищ съёмочное обоснование строят по его периметру для выполнения разбивки по границе зоны затопления. Содержание геодезических работ определяется в основном видом гидротехнического сооружения.

Основными документами при проектировании данных сооружений являются топографические планы и гидрографические продольные профили рек и др.

Проектные горизонталы контура водохранилища выносят на местность способом геометрического нивелирования с нивелирных ходов высотного геодезического обоснования. На крутых склонах применяют метод тригонометрического нивелирования, который легко может быть реализован при использовании электронных тахеометров. Проектные линии закрепляют деревянными столбами либо другим способом, обеспечивающим длительную сохранность точки.

При строительстве гидроузлов создают специальные плановую и высотную разбивочные сети, которые служат как для разбивочных работ, так и последующих исполнительных съёмок, а также для наблюдений за

деформациями построенного сооружения и берегов реки. Плановые сети строят в виде триангуляции, полигонометрии и линейно-угловых построений. Заданную точность построения сетей определяют расчётным путем, исходя из необходимой точности конечных результатов. Сети строят способом последовательного сгущения в две или три ступени. Сеть строят не на поверхность референц-эллипсоида (как это выполняют при построении Государственной геодезической сети), а на поверхность относимости

$$H_o = 0,5 (H_1 + H_2) ,$$

где H_1 и H_2 – соответственно высоты основания и гребня плотины.

Редуцирование на поверхность относимости рассматривается в курсе высшей геодезии.

Уравнивание сетей выполняют строгими способами уравниваний геодезических построений.

Сети для детальной разбивки сооружений гидроузла строят с точностью планового положения их точек не хуже 3 – 5 мм. Данные сети являются т.н. микролокальными: микротриангуляции; микротрилатерации; короткобазисной полигонометрии. При строительстве геодезической разбивочной сети за ось абсцисс принимают ось плотины, а начало координат помещают в один из пунктов этой оси. Пункты сети являются долговременными, поэтому их закрепляют вне зоны производства строительных работ. Закрепляют пункты трубчатыми знаками, бетонными тумбами и др. Поскольку требования к точности построения геодезической основы для строительства гидросооружений высокие, то геодезические знаки снабжают приспособлениями для принудительного центрирования на них геодезических приборов. В данном случае эффективно будет использование способа аналитического центрирования.

Дальнейшее сгущение сетей, если это необходимо, выполняют такими же способами в сочетании с засечками, створными и другими построениями.

Высотные сети строят способом геометрического нивелирования в несколько ступеней: 1-я ступень – нивелирование I или II класса; сгущение (2-я ступень) – нивелирование III или IV класса. Сеть 1-й ступени часто представляет собой отдельные нивелирные ходы или системы ходов. Ходы 2-й ступени сравнительно равномерно заполняют всю территорию. Обычно это системы нивелирных ходов с несколькими узловыми точками либо полигоны.

Геодезические разбивочные работы заключаются в построении главных и основных осей гидротехнического сооружения. При монтаже – установке основных элементов сооружения и технологического оборудования. Монтажные оси разбивают чаще всего створным способом и способом створно-линейной засечки.

Особые требования к геодезическим работам предъявляются при установке гидроагрегатов. Достаточно сказать, что отклонение оси вала турбины и генератора от вертикали не должно быть более 0,02 мм на 1 м длины, ось фундаментного кольца должна совпадать с осью агрегата с

точностью до 2 мм и др. Для выполнения таких работ часто используется специальное оборудование.

Особое место в процессе строительства и при эксплуатации гидротехнических сооружений занимают инженерно-геодезические работы по наблюдениям за деформациями. Указанные наблюдения выполняют как с использованием стационарных систем (гидронивелиров), так и производством натурных измерений, связанных с определением полных координат точек сооружения.

Геодезические работы при строительстве подземных коммуникаций

Подземные коммуникации прокладывают открытым и закрытым (подземным) способом.

При открытом способе коммуникации укладываются в траншеи, при закрытом – в коллекторы различной глубины заложения и диаметров, строительство которых чаще всего ведут открытым способом, способом щитовой проходки либо способом продавливания грунта (проколов) специальным горным оборудованием.

Оси траншей выносят с геодезической основы либо с точек съёмочного обоснования удобными (оптимальными) способами. При необходимости задания уклонов дно траншей зачищают с контролем зачисток с помощью нивелира или визирок. Визирки могут обеспечить точность установки коммуникаций до 2-3 см. При уклонах 0,003 и менее используют нивелир.

При строительстве трубопроводов используют, как уже говорилось выше, лазерные приборы, с помощью которых задают линии проектных уклонов, створы осей коммуникаций. При рытье траншеи с помощью лазерной системы, задающей направление, сигнал от последней поступает на управляющий механизм режущей части землеройной машины.

Перед засыпкой траншеи производят исполнительную съёмку, в графических материалах которой содержится топографический план масштаба 1:500 с плановым положением коммуникаций и профиль по верху труб с указанием глубины их заложения в различных частях и уклонов на однородных отрезках.

При закрытых способах строительства подземных коммуникаций основным является строительство коллектора, в котором затем выполняют укладку самих коммуникаций различного назначения.

В настоящее время используются автоматизированные горнопроходческие комплексы щитовой проходки, оснащенные навигационными системами ведения щита, разрабатывающего грунт в проектом направлении в плане и по высоте. Программное обеспечение навигационных систем, в которое вводятся проектные параметры движения режущего органа, автоматически задают его работу в нужном направлении. За исполнением проекта следят участковые маркшейдеры (или геодезисты) прокладкой за щитом подземного полигонометрического и высотного хода.

Фактическое положение щита в плане и по высоте определяется по координатам фиксированных на щите точек. При использовании для этих целей электронных тахеометров в фиксированных точках размещают специальные пленочные отражатели либо закрепляют или используют съёмные стандартные уголковые отражатели.

Для закрепления стенок тоннеля используют металлические или железобетонные сборные секции, которые скрепляют между собой и стыки герметизируют от проникновения воды внутрь коллектора.

Съёмка ранее построенных подземных коммуникаций выполняется известными методами и способами с точек съёмочного геодезического обоснования. Поскольку коммуникации закрыты землей, то предварительно производят их поиск, а затем, в удобных местах и на углах их поворота выполняют шурфование для вскрытия коммуникаций и регистрации их определенных точек геодезическими методами. Горизонтальную съёмку часто выполняют линейными засечками от точек капитальной застройки. Линейные засечки должны быть выполнены с трёх точек, при этом углы в определяемой точке не должны быть менее 30° и более 150° . При съёмке способом перпендикуляров длина перпендикуляра, построенного «на глаз», не должна быть более 4 м. При полярном способе углы измеряют одним полуприемом при расстоянии от теодолита до съёмочного пикета не более 30 м. Углы поворотов коммуникаций целесообразно снимать с двух точек съёмочного обоснования либо в сочетании с привязкой к твёрдым контурам имеющейся капитальной застройки.

Геодезические работы при планировании и застройке населённых пунктов

В этом материале будут рассмотрены некоторые вопросы, касающиеся строительства городов, отличающихся большим числом зон различного назначения.

Основным градостроительным документом является *генеральный план города*, который составляется примерно на 25-30 лет. **Генеральный план города** – это комплект документов, включающий в себя:

- план существующего города по состоянию на год выпуска генерального плана
- основной чертёж генерального плана
- материалы по предполагаемой архитектурнопространственной композиции, включая макеты отдельных архитектурных решений
- схемы городского и внутреннего транспорта
- проект первоочередного строительства
- схемы размещения предприятий и учреждений культурно-бытового обслуживания
- схемы природных условий, инженерного оборудования, подготовки территории; пояснительную записку

Генеральные планы составляют в масштабе 1:10000 с численностью населения города более 500 тыс.человек и в масштабах 1:5000 и 1:2000 – в городах с меньшим числом жителей.

Проект застройки города составляется на основе проекта детальной планировки и эскизов застройки, составляемого на ближайшие 5 лет. Он содержит графические материалы в масштабах 1:500 и 1:1000, а также в масштабах 1:2000 и 1:5000 – для ситуационных чертежей. В него входят чертежи генерального плана застройки локальной территории, макет застройки, чертежи организации рельефа, озеленения территории, инженерных сетей, чертежи индивидуальных проектов зданий и др.

Геодезической подготовкой для всей градостроительной документации является составление топографических планов и карт соответствующего масштаба, в том числе – топографического плана масштаба 1:500, составляемого для *строительного паспорта* конкретного земельного участка.

Геодезические разбивочные работы на застраиваемой территории заключаются в вынесении в натуру красных линий, осей проездов, зданий и сооружений.

Красные линии и оси проездов на незастроенную территорию выносят с погрешностью не более 10 см, на участках малоэтажной застройки – с погрешностью не более 8 см и на участках многоэтажной застройки – с погрешностью не более 5 см. Полевые работы выполняют с помощью теодолита и рулетки либо с помощью электронного тахеометра (с отражателем). Оси проездов и точки красных линий закрепляют временными знаками либо откраской на стенах имеющихся зданий и сооружений. Закреплённые знаки привязывают к существующей ситуации и составляют на них абрис. Кроме этого, производят исполнительную съёмку и составляют исполнительный чертёж, на который наносят все необходимые результаты измерений.

Основные и главные оси зданий и сооружений выносят в натуру различными способами с пунктов городского геодезического обоснования или пунктов геодезической разбивочной основы. Вынесенные оси зданий по акту сдают застройщику с приложением материалов исполнительной съёмки.

Одним из документов проекта является *схема организации рельефа*, которая составляется в масштабах 1:5000 или 1:2000, а в некоторых случаях и в более крупных масштабах. Организация рельефа определяет высотное положение площадей, улиц, размещение зданий и сооружений, подземных коммуникаций, обеспечение стока ливневых и талых вод и канализации. На схеме организации рельефа указывают: значения проектных отметок в точках пересечения разнородных склонов (разных уклонов поверхностей); значения уклонов по направлениям и расстояния, на которых действует данный уклон; направления стоков воды. К схеме прилагают проекты поперечных профилей улиц, выполненные в масштабе 1:200 или 1:100.

Чаще всего рабочий проект организации рельефа составляют методом проектных горизонталей, представляющих собой прямые или ломаные линии.

Сечение горизонталей выбирают в пределах 0,1 – 0,5 м, однако это зависит от характера застраиваемой территории и архитектурных решений. При больших уклонах сечение проектных горизонталей может быть уменьшено.

Вынос в натуру проекта организации рельефа выполняют методом геометрического нивелирования либо с помощью электронного тахеометра в соответствии со схемами выноса проектных отметок и уклонов. При выносе проектных (высотных) точек на поверхностях с однородным уклоном удобно использовать наклонный луч геодезического прибора (теодолита, нивелира, тахеометра). Вынесенную точку (колышек) забивают в грунт до проектной высоты его верха. Часто верх колышка оставляют на произвольной высоте, большей, чем проектная, а на самом колышке выполняют откраску на проектном уровне.

Вынос на местность проекта организации рельефа производится с точностью технического нивелирования [54].

Геодезические работы при строительстве дорог и мостовых сооружений

Геодезические работы при строительстве дорог начинают с детальной разбивки её оси по материалам предыдущего трассирования. При этом восстанавливают утраченные пикеты, углы поворота и главные точки круговых кривых. Выполняют детальную разбивку кривых одним из известных способов. Кроме того, производят контрольное нивелирование по пикетажу и плюсовым точкам, разбивают, при необходимости, дополнительные поперечные профили. После выполнения указанных работ трассу окончательно закрепляют на местности знаками, располагаемыми вне зоны земляных работ, и сгущают сеть рабочих реперов из расчета : 1 репер на 4-5 пикетов трассы.

В зависимости от условий местности и положения проектной линии трассы выполняют разбивку земляного полотна дороги для различных случаев положения проектного и поперечного профилей трассы. Разбивка земляного полотна производится с учётом обустройства проезжей части, обочин, откосов и кюветов, соблюдением проектных уклонов в продольном и поперечном направлениях. Поперечные уклоны необходимы для обеспечения отвода воды в том и другом направлениях от оси дороги либо в одном каком-либо направлении, а также для обеспечения необходимой устойчивости движущегося на закруглениях транспорта. Поперечные уклоны не должны отличаться от проектных не более, чем на 0,030.

Исполнительная геодезическая съёмка выполняется после возведения земляного полотна и после окончательного строительства дороги.

Для разбивки под строительство мостовых сооружений создают плановую разбивочную сеть в виде триангуляции, трилатерации, полигонометрии, а также линейно-угловых построений с погрешностью в определении координат пунктов не более 10 мм. Указанные сети *уравнивают*

строгими способами. (О способах уравнивания геодезических построений будет подробно рассказано в последней главе учебника). Разбивочная сеть создается в частной или условной системе координат. Осью абсцисс является ось мостового сооружения.

В мостовых триангуляционных сетях углы измеряют с погрешностью не более $1''-2''$, с точностью 2-3 мм измеряют контрольные базисные стороны (не менее двух сторон).

На рис.59, Триангуляция. Сдвоенный геодезический четырёхугольник представлена схема триангуляционной сети в виде сдвоенных геодезических четырёхугольников. Может быть использована схема и в виде одного геодезического четырёхугольника с измерением двух базисов на противоположных берегах, например, АВ и DE.

При построении трилатерационных сетей основной фигурой часто является сдвоенный геодезический четырёхугольник или сдвоенные центральные системы (рис.60. Трилатерация. Сдвоенная центральная система). Стороны в указанных построениях и их диагонали измеряют светодальномером высокой точности.

Линейно-угловые сети (рис.61. Линейно-угловые построения) на мостовых сооружениях позволяют обеспечить большую точность, чем триангуляционные или трилатерационные сети, поскольку в них отсутствуют направления вдоль берегов, что создает одинаковые условия для измерений горизонтальных углов (ослабляется влияние боковой рефракции атмосферы). Кроме того, в линейно-угловых сетях появляется большое число избыточных измерений, что обеспечивает надежный контроль в построениях. Вообще говоря, и при построениях сетей триангуляции и трилатерации, если имеется возможность измерения хотя бы части сторон или углов, то такие измерения целесообразно выполнять. Затраты на выполнение дополнительных измерений того стоят.

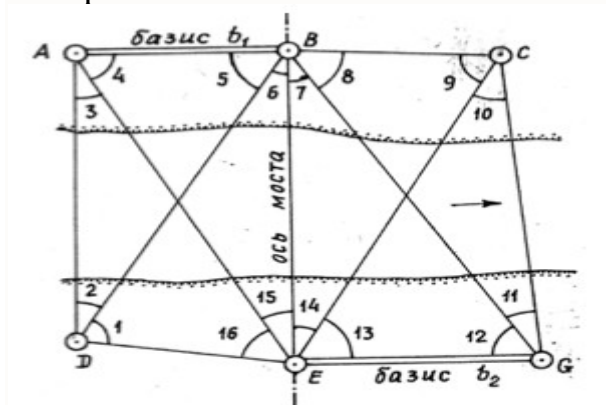


Рис.59.Триангуляция. Сдвоенный геодезический четырёхугольник

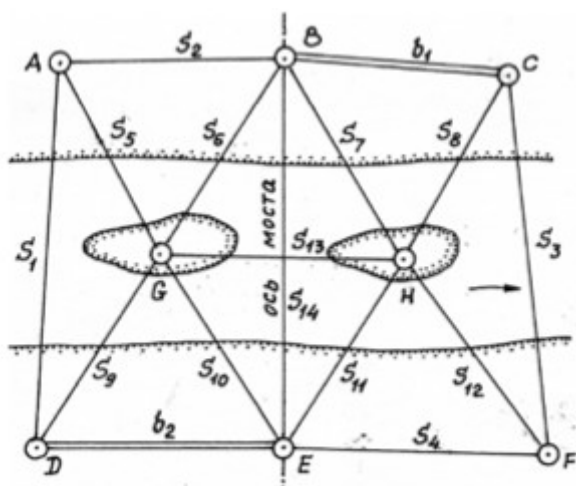


Рис.60.Трилатерация. Сдвоенная центральная система

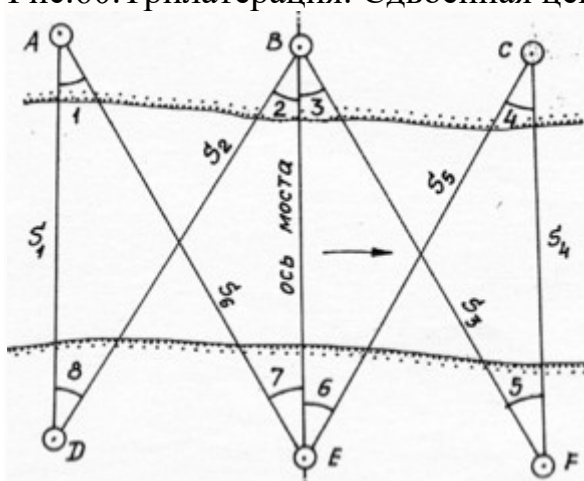


Рис.61.Линейно-угловые построения

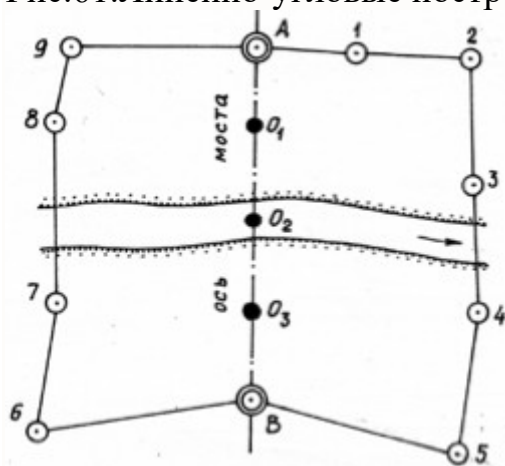


Рис.62.Система полигонометрических ходов.

Полигонометрические сети строят в виде системы ходов в продольном по оси моста направлении (рис.62. Система полигонометрических ходов). Углы в такой сети измеряют с погрешностью 2"-3", а стороны – с погрешностью 5 мм. Полигонометрические сети чаще всего строят на суходольных реках в межень период (примерно середина лета для средней полосы), когда береговые линии максимально приближаются друг к другу. В систему

полигонометрического хода включают точки А и В оси моста. В результате образуется замкнутый полигонометрический ход, состоящий из разомкнутого основного хода А-1-2-3-4-5-В и контрольного В-6-7-8-9-А. В таком построении измеряют горизонтальные углы в узловых точках А и В между линиями полигонометрического хода и осью моста. Кроме того, рекомендуется измерить светодальномером и расстояние АВ и сравнить его с вычисленным по координатам точек А и В расстоянием.

Возможны и другие геодезические построения в виде *сдвоенных центральных систем*, а также сочетания линейно-угловых построений с полигонометрическими ходами. Вид построения зависит как от необходимой точности разбивочных работ, так и от условий работ.

При строительстве мостовых сооружений и виадуков через ущелья и каньоны, когда опоры на берегах устанавливают уступами, строят линейноугловые сети в вертикальной плоскости. При этом расстояния измеряют светодальномером, а вертикальные углы – теодолитом либо используют для этих целей электронный тахеометр. Здесь следует иметь в виду, что вертикальные углы измеряются с несколько меньшей точностью, чем горизонтальные, поэтому число измерений следует увеличивать до достижения необходимой точности.

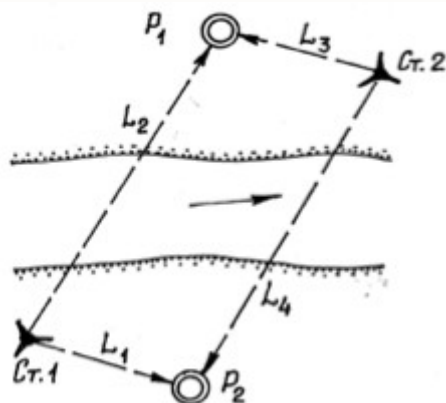


Рис.63.Передача высот через водное препятствие.

Высотная геодезическая сеть представляет собой систему реперов, высоты которых определяют с погрешностью 3-5 мм нивелированием III класса. Особенности построения высотной сети является передача отметки через водное препятствие, что часто выполняют по схеме, представленной на рис. *Передача высот через водное препятствие*. Применяют точное геометрическое и тригонометрическое нивелирование. В зимнее время нивелирование выполняют по льду по заранее замороженным пикетам. На двух станциях необходимо обеспечить строгую симметрию неравных плеч:

$$L1 = L3; L2 = L4 .$$

Створ оси моста при разбивке задают теодолитом или лазерным визиром и выносят по нему центры опор с помощью компарированных рулеток или светодальномером. На больших суходольных реках центры опор выносят способами прямой или обратной угловой засечки с пунктов разбивочной сети. Прямую угловую засечку выполняют с трёх пунктов, причем одно из

направлений обязательно должно совпадать с осью моста. При обратной угловой засечке решение задачи выполняют по четырём исходным пунктам сети. Центр мостовой опоры может быть смещён относительно оси не более, чем на 20 мм.

Детальная разбивка опоры осуществляется от её центра относительно оси опор и перпендикулярного к ней направления – оси опоры.

По окончании строительства опор, а затем – после монтажа пролетных строений, производят исполнительную съёмку.

Геодезические работы при строительстве гражданских зданий

В большинстве случаев технология строительства гражданских зданий сводится к следующим основным этапам:

- подготовка котлована
- установка свай
- возведение фундамента и перекрытий подвала
- возведение стен
- установка технологического оборудования

Первые три вида работ относятся к т.н. *нулевому циклу*, или подземному циклу, заканчивающемуся на этапе возведения здания до *нулевой отметки*, т.е. отметки *чистого пола* (1-й этаж).

Строительство котлована включает в себя геодезическую разбивку его границы, рытье котлована, геодезический контроль за соблюдением геометрических параметров, передача осей и высот в котлован, исполнительная съёмка подготовленного котлована и подсчет объёмов земляных работ [55].

В связи с тем, что грунты, слагающие дно котлована, будут нести на себе нагрузку от сооружения, не допускается излишняя углубка, поскольку при переборе глубины нарушается естественная структура грунта. При геодезическом контроле вручную зачищают последние 10-15 см грунта.

При установке свай выполняют разбивку их положения от осей здания и маркируют эти точки на торце колышка, забиваемого в уровень с землей.

Каждую сваю размечают на метры от её острия (номером метра) яркой краской и буквами ПГ (проектная глубина погружения). Контроль за вертикальностью погружения осуществляют с помощью теодолита или тяжёлого отвеса. Отклонения сваи от вертикальности должны быть не более 0,2 - 0,4 её поперечного размера.

После установки свай производят исполнительную их съёмку и производят сопоставление с проектом.

Для установки фундаментов без свай на дно котлована переносят и закрепляют все продольные и поперечные оси.

Готовые фундаментные блоки устанавливают в проектное положение в соответствии с разбивкой с непосредственным контролем геометрических размеров рулеткой. Створ центров фундаментных блоков задают теодолитом

(удобно работать одновременно двумя теодолитами в перпендикулярных створах).

Если фундамент возводят в скользящей опалубке, то геодезическими методами контролируют положение опалубки в плане и по вертикали. При деформациях опалубки на недопустимую величину работы приостанавливают и переводят опалубку в проектное положение.

При исполнительной съёмке фундаментов в плане и по высоте одновременно на боковые и верхние части фундаментов переносят оси. Это позволяет проконтролировать возможные отступления от проекта.

Значительный объём геодезических работ производится при построении базисных осевых систем и разбивке осей на исходном горизонте, которым называют горизонт монтажной площадки по завершении нулевого цикла. Базисные фигуры осевой системы по своей форме повторяют конфигурацию здания и представляют собой геометрически правильные фигуры со сторонами, параллельными осям здания. Очевидно, что базисные фигуры получаются меньших размеров, чем габариты здания. Последующая разбивка от базисных фигур выполняется промерами по проектной разнице расстояний между осью и стороной базисной фигуры. Точность построения плановой сети на монтажном горизонте довольно высокая, 1-2 мм. Для обеспечения указанной точности применяют точные теодолиты и компарированные рулетки. При измерениях рулетками обеспечивают необходимое натяжение (10 Н) и учитывают поправку за температуру.

Для вычисления координат точек базисных осевых систем результаты измерений в геодезических построениях предварительно уравнивают, полученные уравненные значения сравнивают с проектными и при необходимости выполняют редуцирование.

Чаще всего базисными фигурами являются прямоугольники с диагоналями и центральные системы, реже – прямые или ломаные линии. При построениях преимущественно используют метод трилатерации короткими сторонами (микротрилатерация), что связано с большими погрешностями при использовании угломерных приборов из-за значительной погрешности центрирования на коротких сторонах. При использовании способа *аналитического центрирования* [54] возможно с незначительной трудоёмкостью обеспечивать и точные угловые измерения при коротких сторонах. Построение прямых или ломаных линий выполняют привязкой их точек способом угловой засечки к исходной геодезической основе стройплощадки в сочетании с линейными промерами на исходном и монтажном горизонтах, т.е. выполняют линейно-угловые построения.

Передача осей на монтажный горизонт при строительстве зданий малой и средней этажности чаще всего выполняется способом наклонного проектирования (*рис. Передача осей на монтажный горизонт наклонным лучом*) с двух станций, располагаемых в створах соответствующих осей. Вынос направлений на монтажный горизонт выполняют при двух положениях, КП и КЛ, и определяют среднее из них. При строительстве

зданий повышенной этажности целесообразно использовать способ вертикального проектирования (*рис. Передача осей на монтажный горизонт способом вертикального проектирования*) через специальные технологические отверстия. При этом возможно проектирование как с исходного на монтажные горизонты (сквозное проектирование), так и поэтапное проектирование с горизонта на горизонт (шаговое). Для наклонного проектирования используют теодолиты Т2, а для вертикального проектирования приборы типа ПОВП и PZL (Карл Цейс).

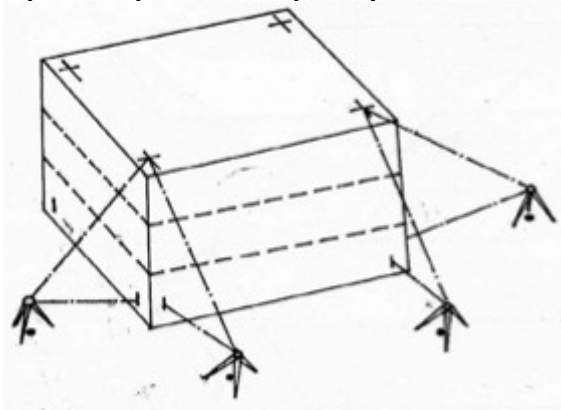


Рис.64.Передача осей на монтажный горизонт наклонным лучом.

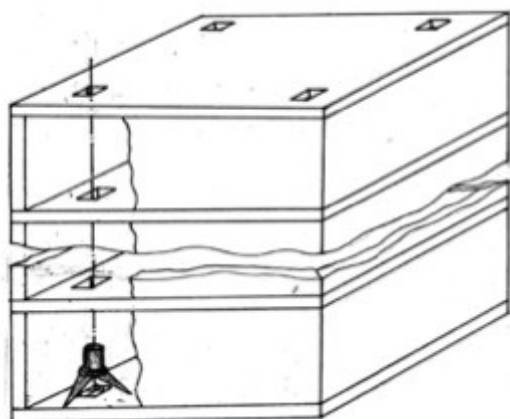


Рис.65.Передача осей на монтажный горизонт способом вертикального проектирования.

Высотные сети передают на монтажные горизонты способом геометрического нивелирования с использованием нивелиров НЗ. В некоторых случаях отметку на монтажный горизонт передают непосредственно линейными промерами с фиксацией на конструкциях условного монтажного горизонта, отличающегося от проектного на некоторую большую величину.

Геодезические работы при возведении крупнопанельных, каркасных, блочных, кирпичных зданий и зданий из монолитного железобетона регламентируются специальными инструкциями, рекомендациями, наставлениями, в которых отражаются некоторые особенности и технологические требования по установке тех или иных элементов при обеспечении заданной точности их установки. В любом случае необходимо обеспечивать установку элементов в их проектное положение по

соответствующим осям, вертикальности, по высоте и взаимному расположению.

Основные объекты строительства делятся на:

- промышленные сооружения
- гражданские здания
- территории населённых пунктов, на которых производится планировка и застройка
- подземные коммуникации
- дороги и мостовые сооружения
- гидротехнические сооружения
- тоннели
- линии электропередач и магистральные трубопроводы и др.

Промышленные предприятия представляют собой комплекс сооружений, которые обеспечивают производство и выпуск определённой продукции. Эти сооружения предприятий и называют промышленными: здания, в которых осуществляется технологический процесс; здания энергообеспечения и других установок; склады; коммуникации и др.

Промышленные здания делятся на одноэтажные, многоэтажные, однопролетные и многопролетные. По конструкции в большинстве – это каркасные здания с перекрытиями в виде ферм или крупноразмерных балок. Большинство промышленных сооружений оборудовано мостовыми или козловыми кранами для перемещения грузов. Вертикальными несущими элементами каркасных здания являются **колонны**, которые устанавливаются на фундаменты. Расстояние между колоннами, расположенными по продольным осям, называется **пролетом**, а вдоль продольной оси – **шагом**. Связь колонн по продольной оси осуществляется с помощью **подстропильных ферм** и **фундаментных балок**. Поперечная связь обеспечивается **стропильными фермами**. Перекрытия и стены закрывают **панелями**.

Гражданские здания могут быть по своим конструктивным признакам каменно-кирпичными, монолитными, крупноблочными, крупнопанельными, каркасными, объёмно-блочными. По этажности они подразделяются на малоэтажные (1-2 этажа), среднеэтажные (3-5 этажей), многоэтажные (6-12 этажей), повышенной этажности (13-22 этажа), высотные (выше 22 этажей). По конфигурации они могут быть односекционными (с 1 подъездом), удлинённые (более двух секций) и сложные (круглые, с разворотом и смещением секций, многогранники и т.п.).

Сложные конструктивные построения представляют собой **мостовые сооружения**, которые возводят в местах многоярусных автомобильных развязок, эстакадные сооружения линий метро и др. Основными их конструктивными элементами являются мостовые опоры и пролетные части.

Виды гидротехнических сооружений и подземных коммуникаций

Гидротехнические сооружения условно делят на три вида:

- водонапорные (дамбы и плотины)
- водопроводящие (каналы, тоннели, трубопроводы)
- регуляционные (волнобои, льдозащитные стенки, системы углубления дна и берега)

К подземным коммуникациям относятся:

- сети водопровода
- сети канализации
- сети газоснабжения
- сети теплофикации
- водосточные сети
- сети дренажа
- электро- и телефонные линии связи и др.

Объекты планировки и застройки

Объектами планировки и застройки являются следующие функциональные зоны:

- селитебная (жилые районы, общественные центры, зоны зелёных насаждений)
- промышленная
- коммунально-складская (базы, гаражи, автобусные и троллейбусные парки, таксопарки, трамвайные депо)
- внешнего транспорта (пассажирские и грузовые станции, порты, пристани и др.)

В основной состав геодезических работ в указанных зонах входит:

- составление и расчёты проекта **красных линий** (границ между всеми видами улиц и проездов и основными градообразующими элементами – функциональными зонами)
- составление плана организации рельефа и вынесение в натуру проекта организации рельефа
- вынесение в натуру осей проездов, зданий и сооружений

Линии электропередач и магистральные трубопроводы

Линии электропередач и связи делятся на кабельные (подземные) и воздушные. Магистральные трубопроводы предназначены для транспортировки на дальние расстояния нефти, нефтяных продуктов, газа, воды. Они бывают подземными и наземными.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ

Экономика геодезического производства является специальной отраслевой дисциплиной. Она исследует возникающие в производстве формы общих закономерностей рыночных отношений, которые необходимо

учитывать в управлении функционированием и экономическим развитием отрасли. Основу экономики геодезического производства, как и любой другой отрасли, составляют два фундаментальных фактора: первый – постоянно растущие потребности общества в геодезической продукции, как одно из условий его материального благосостояния; второй – экономические ресурсы отрасли, то есть ее средства для производства продукции и услуг для общества, ограничены. В этой связи абсолютное удовлетворение общества геодезической продукцией во всем ее многообразии практически осуществить маловероятно.

Поиск вариантов эффективного использования ограниченных ресурсов производства с целью максимального удовлетворения потребностей общества и составляет предмет данной книги. Книга восполняет нехватку литературы по вопросам отраслевой экономики геодезического производства, соответствующей рыночным условиям. Нами рассмотрено производство в системе рыночных отношений, его продукция, специфические особенности, концентрация и размещение, рынки, типы конкуренции и пр. Во второй – рассмотрены производственные ресурсы отрасли и вопросы их интенсификации. Сложность изучения экономических закономерностей и условий данного производства заключается в многообразии его организационно-правовых форм, зависимости от многих, в том числе и природных условий и информационном характере выпускаемой продукции. Вместе с тем, следует отметить, что большинство аспектов экономики промышленности свойственны и геодезическому производству. Поэтому авторы стремились на основе глубокого анализа адаптировать ряд общепромышленных проблемных вопросов, возникающих при экономическом управлении геодезическим производством в рыночных условиях.

К таким вопросам относятся: территориальное размещение производства; оценка эффективности отрасли; рыночное ценообразование и ряд других. Большой перечень вопросов, рассмотренных в монографии, изложен на основе собственных исследований и разработок авторов. В условиях рыночных отношений изменяется система показателей, характеризующих экономику отрасли. Новые показатели требуют как новых методик расчета, так и нового экономического мышления, более высокого уровня профессионализма от руководителей и работников экономических служб. В этой связи в монографии приводятся экономико-математические модели и рабочие формулы формирования основных экономических показателей, необходимых для управления отраслью.

ОСНОВЫ ЭКОНОМИКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Геодезические знания являются самостоятельным предметом в общей структуре географии. Они играют большую роль в различных областях народного хозяйства нашей страны. Работы, связанные с практическим получением и моделированием информации по этим знаниям, называются

геодезическими работами. Так, с древних пор по настоящее время геодезические работы выполняются для нужд строительства, сельского и лесного хозяйства, поиска и добычи полезных ископаемых, земельного кадастра, развития производительных сил и т.п. Геодезические работы относятся к сфере материального производства и носят характер ее научного обслуживания.

В настоящее время ни одна отрасль народного хозяйства, в том числе образование, наука и культуры, не обходится без использования той или иной геодезической и картографической продукции. Так, например, геодезическое обслуживание капитального строительства начинается с инженерных изысканий, продолжается при строительном проектировании и особенно ярко проявляется в процессе выполнения строительно-монтажных работ. Здесь важную и ответственную роль играют геодезические работы, обеспечивающие: строительство плотин, дамб, каналов методом направленных взрывов; монтаж металлических конструкций доменных печей, телевизионных антенн и радиорелейных мачт; монтаж конструкций и технологического оборудования на металлургических, химических и нефтеперерабатывающих заводах; проходку шахтных стволов в сложных гидрологических условиях; строительство и монтаж железобетонных высотных сооружений, монтаж стальных конструкций многоэтажных зданий; строительство причалов, док камер, набережных и целого ряда других сложных инженерных сооружений.

К геодезическим работам, выполненным для капитального строительства, как правило, предъявляются жесткие требования по части их точности при сравнительно небольших расстояниях. Например, при установке блоков протонных ускорителей электронных частиц допустимая погрешность характеризуется десятками микронов, тогда как размеры сооружения достигают нескольких сотен метров.

Поистине научное значение имеют геодезическое обслуживание в эксплуатационный период ряда уникальных объектов капитального строительства, построенных в сложных геологических условиях. В число таких объектов входят крупные гидроэлектростанции, синхронные ускорители частиц, высотные здания и сооружения. Для геодезического обслуживания уникальных объектов капитального строительства характерна индивидуальность методик, технологических и технических средств выполнения геодезических работ.

Особую роль играет геодезическое производство в создании атласов и карт, а также других геодезических данных, необходимых для государственного управления, обороны страны, средней и высшей школ, туризма и других мероприятий. Изучение космоса также связано с измерениями, относящимися к специальной области геодезических знаний, – космической геодезии и прикладной астрономии.

Тип геодезического производства

Организация производства, его ресурсное обеспечение и экономическое управление им, в том числе и размер инвестиций в основной и оборотный капитал, во многом определяются типом производства. Тип производства - это классификационная категория производства, выделяемая по принципам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска продукции, использования производственных ресурсов. Согласно ГОСТ 14.004-83 по признакам выпускаемой продукции производства делятся на единичное, серийное и массовое. Отношение производства к тому или иному типу определяется коэффициентом закрепления технологических операций на одном рабочем месте, который находится по формуле:

$$k_{з.о} = z / R,$$

где $k_{з.о}$ - коэффициент закрепления операций за одним рабочим местом; z - общее количество технологических операций, выполняющихся в производственном подразделении в течение месяца; R - общее количество рабочих мест в подразделении.

Рабочее место - это зона трудовой деятельности (непосредственного приложения труда) одного или нескольких исполнителей работы, оснащенная средствами, необходимыми для выполнения производственных заданий. Технологическая операция - это часть технологического процесса, осуществляемая одним или несколькими исполнителями (бригадой) над одним предметом труда на одном рабочем месте без переналадки оборудования (средств труда).

Единичное производство характеризуется малым объемом выпуска одинаковых изделий, широкой номенклатурой, повторное изготовление которых, как правило, не предусматривается или повторяется нерегулярно. Примером единичного типа производства могут на сегодня быть создание геодезического полигона, высокоточные астрономические определения. Для единичного производства $k > 40$, что обуславливает организацию рабочих мест с применением универсального оборудования и оснастки, высококвалифицированной рабочей силы. Себестоимость продукции единичного производства высокая.

Однако выпускаемая продукция этого производства наиболее полно учитывает динамизм потребительских требований. В серийном производстве изготавливаются изделия ограниченной номенклатуры периодически повторяющимися партиями. В зависимости от количества изделий и коэффициента закрепления, различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство. Для мелкосерийного производства характерные значения $k_{з.о} = 21 - 40$, для среднесерийного $k_{з.о} = 11 - 20$, для крупносерийного $k_{з.о} = 1 - 10$. Примером мелкосерийного производства является обновление карт одного масштабного ряда (1 : 25 000 или 1 : 50 000 и т.п.). Массовое производство характеризуется большим объемом

однотипной номенклатуры изделий, непрерывно изготавливаемых в течение продолжительного времени. На большинстве рабочих мест выполняется не более одной операции или комплекс трудовых приемов, при этом, как правило, $k_{з.о} < 1$. В массовом типе производства создаются широкие предпосылки автоматизации и механизации производственных операций за счет применения однооперационного оборудования и создания на его основе поточных линий, транспортных и рабочих конвейеров.

В силу специфики геодезического производства организация его по массовому типу на сегодня не представляется возможной. По мере увеличения объемов производства однородной номенклатуры и повторяемости ее выпуска мелкосерийное производство переходит в среднесерийное, среднесерийное - в крупносерийное, крупносерийное - в массовое. При переходе рабочие места приобретают все большую специализацию, которая обуславливает применение менее квалифицированной рабочей силы и специализированного оборудования, а также стандартизацию производства, что, в свою очередь, ведет к снижению себестоимости продукции и повышению ее качества, что является положительным моментом.

Наряду с положительными сторонами, есть и отрицательные в крупносерийном и массовом производстве. Основные из них: с увеличением объема производства снижаются рыночный спрос и потребительские свойства продукции; переход на новый вид, даже однородной по функции продукции, осложнен необходимостью технического перевооружения из-за наличия узкоспециализированного оборудования. Для межотраслевого планирования развития производств и их взаимосвязей, наряду с вышерассмотренными типами производства в зависимости от количества потребляемых ресурсов производства группируются на фондоемкие, материалоемкие, трудоемкие. Прогрессивность технических средств труда и технологий позволяет подразделить производства на наукоемкие, сложные и простые. Отнесение конкретного производства к той или иной группе на практике осуществляется на основе удельного веса ресурса в себестоимости выпускаемой продукции. Например, в фондоемком производстве наибольший удельный вес в себестоимости продукции будет иметь статья «амортизация»; в материалоемком – «материалы»; в трудоемком – «заработная плата». В наукоемких производствах большой удельный вес занимают затраты на научные исследования и разработку на их основе более прогрессивной техники, материалов, технологий, которые часто меняются.

Для геодезического производства в структуре себестоимости продукции удельный вес заработной платы составляет около 50%; материалов - 5%; амортизации - 2%; технологического транспорта - около 16%. Характеризуя геодезическое производство в целом, можно сказать, что оно относится к мелкосерийному с элементами единичного типа производству, трудоемкому, сложному. Это производство использует мало энергии, материалов и комплектующих изделий и в этом плане практически не зависит от других отраслей народного хозяйства. Основными производственными ресурсами

являются: высококвалифицированные кадры, универсальные высокоточное геодезическое оборудование и приборы, транспорт, производственные здания, фотохимикаты, техническая фотопленка, цемент, лесоматериалы, металлоизделия.

Научно-технические и организационно-экономические принципы организации производства Межотраслевая значимость геодезической продукции и многочисленность организаций, производящих ее, делают необходимым, чтобы геодезическое производство основывалось на единых научно-технических и экономических принципах.

Научно-технические принципы

В основе управления научно-техническим развитием геодезического производства лежат следующие принципы: единство руководства технической политикой; стандартизация продукции; научно-техническое обслуживание производства; государственный контроль и координация работ; единство метрологического обслуживания. Единство руководства технической политикой в геодезическом производстве Кабинетом Министров Республики Узбекистан возложено на комитет «Земля, кадастр, картографирование» и охватывает все геодезические работы, выполняемые с целью картографирования республики и обеспечения ее государственной геодезической основой для хозяйственных, научных и военных целей. Единство руководства технической политикой осуществляется и выражается в: научном обосновании и применении для всей республики единых исходных дат, систем геодезических координат, эллипсоида относимости и общей системы каталогов; разработке и применении единых научно-обоснованных программ и схем выполнения общегосударственных геодезических работ; согласовании между комитетом «Земля, кадастр, картографирование» и Военно-топографическим управлением Республики Узбекистан технических условий на общегосударственную геодезическую продукцию; систематическом и планомерном выполнении геодезических работ в соответствии с запросами народного хозяйства. Стандартизация выпускаемой продукции осуществляется разработкой и соблюдением при производстве геодезических работ требований единых технических инструкций, наставлений, номенклатуры разграфки топографических карт, условных знаков, правил транскрипции названий, руководящих технических материалов. Научно-техническое обслуживание производства предусматривает создание и функционирование специальных служб: времени, фундаментальных астропунктов, компарирования мер, базисов, исходных дат, вековых реперов, опорных гравиметрических пунктов, метеослужбы, радиослужбы, дежурных карт, транскрипции названий. К научно-техническому обслуживанию относятся также разработка новых отечественных технических средств труда: геодезических и астрономических

приборов и инструментов, фотограмметрического и фотолабораторного оборудования, новых технологий.

Производство геодезических работ связано с количественным измерением информации на местности, в связи с этим основными задачами метрологического обслуживания является обеспечение: соответствия технических средств труда техническим требованиям выпускаемой производством продукции, единообразие методик и средств измерений. Все это достигается созданием и организацией постоянного функционирования специальной метрологической службы, которая имеет сеть эталонных компараторов и геодезических эталонных полигонов для эталонирования геодезических, фотограмметрических и астрономических приборов и инструментов. Вся геодезическая продукция межотраслевого назначения выпускается только с применением приборов и инструментов, прошедших метрологическую аттестацию государственными (или ведомственными) поверителями в геодезии. В качестве базовой организации метрологической службы в геодезическом производстве аккредитован ЦНИИГАиК. Он же разрабатывает методы, методики и нормативные документы по метрологическому обеспечению производства.

Организационно-экономические принципы. Единство норм и нормативов.

Этот принцип проявляется в создании единой нормативной базы расходования производственных ресурсов. Единичные типовые процессы на разных объектах работ имеют одно и то же содержание и организационно-технические условия. Однако расход ресурсов при этом различен и будет зависеть от физико-географических условий, в которых эти процессы выполняются. Поэтому, исходя из экономической целесообразности, принцип единства норм и нормативов обуславливает разработку для различных физико-географических условий единых норм и нормативов затрат труда, материалов, транспорта, продолжительности полевого сезона и т.п. Единые нормы и нормативы обязательны для применения во всех государственных и муниципальных геодезических организациях и служат основой для определения цены на геодезическую продукцию, потребности в производственных ресурсах и для формирования многих планово-экономических показателей организации. Для современного геодезического производства разработку единых норм ведут научно-исследовательские институты и организации Госстроя Республики Узбекистан. Например, в настоящее время широкое использование получили: Единые нормы выработки (времени) на геодезические и топографические работы.

Централизация разрешительных и контрольных функций за производством геодезической продукции. Соблюдение данного принципа в геодезическом производстве обеспечивает качество, надежность, комплектность, точность, полноту содержания продукции и устраняет

излишнее дублирование и перекрытие геодезических работ. Разрешительные и контрольные функции выполняет Управление режима и государственного геодезического надзора (Госгеотехнадзора Республики Узбекистан).

С этой целью данное управление имеет сеть республиканских и территориальных инспекций. Задачами государственного геодезического надзора являются: надзор за соблюдением всеми организациями геодезического производства требований нормативно-технических документов, регулирующих геодезическую и картографическую деятельность; лицензирование геодезической и картографической деятельности; регистрация геодезических и картографических работ; учет геодезических пунктов; ведение дежурной справочной карты с отображением на ней изменений границ между субъектами Республики Узбекистан, муниципальными образованиями, а также изменений местности и наименований географических объектов; выдача организациям, осуществляющим геодезическую деятельность, сведений о геодезической изученности местности на участках планируемых работ; контроль за организацией и выполнением геодезических и картографических работ, а также учет, хранение, использование и реализация геодезических и картографических материалов и данных, полученных в результате проведения указанных работ, аэрокосмических съемок и др. Учет, систематизация и хранение геодезической продукции. Данный принцип обеспечивает сохранность и многократное использование качественной геодезической продукции различными организациями. Как уже было отмечено выше, геодезическая продукция и ее первичные материалы относятся к документам длительного хранения. После завершения полевых и камеральных работ на объекте вся геодезическая продукция подлежит приемке, систематизации и учету в соответствующей территориальной инспекции Госгеотехнадзора Республики Узбекистан с последующей сдачей копий продукции заказчику. По государственному заказу продукция передается предприятием на хранение в Центральный картографогеодезический фонд Республики Узбекистан (ЦКГФ). Данный фонд на базе автоматизированной системы учета топографо-геодезических и картографических работ, выполненных на территории России осуществляет сбор, систематизацию, хранение, обработку и выдачу информации пользователям в установленном порядке. Место хранения работ, выполняемых геодезическими организациями на основе хозяйственных договоров (договорных работ), определяет соответствующая инспекция Госгеотехнадзора Республики Узбекистан. Этим местом, например, может быть сама инспекция, ЦКГФ или организация, выполнившая данные геодезические работы. Таким образом, в инспекции Госгеотехнадзора Республики Узбекистан концентрируется в систематизированном виде вся информация о геодезической и картографической деятельности на закрепленной за данной инспекцией территории. Следует отметить, что выполненная и принятая инспекцией геодезическая продукция является в

последующем частью общего информационного ресурса, определяемого нами как «геодезическая изученность».

Экономико-математическая модель производственной мощности

Производственная мощность (ПМ) предприятия является важным экономическим показателем, который применяется для следующих целей: выявления внутрипроизводственных резервов; оценки напряженности и обоснованности планов объема выпуска товаров; определения размера предприятия; сбалансированности возможностей взаимосвязанных производств; прогнозирования потребностей в оборудовании, трудовых ресурсах и их распределения внутри организаций и отрасли в целом. В сфере материального производства под производственной мощностью организации понимается максимально возможный выпуск продукции в единицу времени. Однако это понятие для каждого производства конкретизируется относительно факторов, определяющих ПМ.

Так, например, в трудоемких производствах (геодезическом, геологическом, изыскательном и др.), где основным производственным ресурсом являются квалифицированная рабочая сила и средства труда, под производственной мощностью организации понимается максимально возможный выпуск продукции в номенклатуре, в ассортименте и количественных соотношениях, заданных производству, при полном использовании производительных сил, применении прогрессивных технологий, норм выработки и научных методов организации труда. Производственное оборудование, транспорт и численный состав работников являются ресурсами, определяющими производственную мощность. В теории определения мощности доказано, что расчет ПМ целесообразно вести по лимитирующей группе определяющих ресурсов. Под лимитирующей группой понимаются ресурсы, которые в планируемом периоде не могут быть восполнены организацией без существенных издержек. Относительно геодезического производства к такой группе относятся дорогостоящее уникальное оборудование и численный состав инженерно-технических работников (ИТР).

В настоящее время дорогостоящим оборудованием и инструментами в геодезическом производстве являются: для камерального производства - стереопроекторы, фототрансформаторы, полиграфическое наборное и печатное оборудование, автоматизированные рабочие места, персональные ЭВМ; для полевого производства - высокоточные геодезические инструменты (теодолиты, нивелиры, светодальномеры, GPS-приемники, а также вездеходы (автомобили) и др.) Как для полевого, так и для камерального производства лимитирующей группой трудовых ресурсов являются непосредственные исполнители работ - техники и инженеры. С целью избегания громоздких расчетов однотипное оборудование и кадры при расчетах ПМ принято приводить к одному ресурсу-представителю с помощью коэффициентов ξ .

Данный коэффициент определяется как отношение производительности единицы ресурса в единицу времени к аналогичной производительности ресурса-представителя. Так, например, при транспортировке грузов, если принять в качестве ресурса-представителя автомашину грузоподъемностью 3 тонны, а парк грузовых машин экспедиции составляют автомашины грузоподъемностью 5, 3, 2 тонн, то коэффициенты будут соответственно равны $\xi_1 = 5 : 3 = 1,7$; $\xi_2 = 3 : 3 = 1$; $\xi_3 = 2 : 3 = 0,7$.

В экономико-математической модели расчета производственной мощности геодезического предприятия реализована функциональная парная связь признака (мощности) и фактора аргумента (производственного ресурса), позволяющая определять потенциальную возможность производства по каждому из трех факторов. За мощность производства принимается, в случае необходимости их совместного применения, наименьшая потенциальная возможность одного из лимитирующих факторов. Экономико-математическая модель основы расчета потенциальной возможности каждого фактора-аргумента имеет вид: $[x \lambda j i] 1 * m = ([y \eta \lambda j] 1 * d [\xi \eta \lambda j] d [\Phi \eta \lambda j] d * 1) ([x 1 i] 1 * m [T \eta \lambda j i] m * 1) - 1 * ([x 1 j] 1 * m [T \eta \lambda j i] m) / ((\tau \eta \lambda j i) - 1) m$,

где $x \lambda j i$ - потенциальная возможность λ -й группы i -го фактора аргумента (ресурса) по изготовлению изделий i -го ассортимента; η -тип ресурса в группе, $\lambda = 1, k_j$; $i = 1, m$; $j = 1, n$; $\eta = 1, d$.

Исходными данными в модели являются: $x 1 j i$ - заданный производству объем i -го ассортимента изделий (работ); $y \eta \lambda j$ - фактический (планируемый) объем (количество) -вида -й группы j -го ресурса; $\xi \lambda \eta$ - коэффициент заменяемости -го вида ресурса ресурсом-представителем; $\Phi \lambda j$ - максимальный на расчетный период фонд рабочего времени на единицу i -го ресурса; $T \eta \lambda j i$ - прогрессивная трудоемкость на единицу i -го ассортимента продукции (работ). Рассчитывая $x i j$ по формуле приведенной выше для всех групп j -го ресурса ($1, k_j$), получим матрицу вида $[x i j] m * k_j$, в которой наименьшее значение по i -м строкам обеспечено всеми необходимыми группами j -го ресурса. Поэтому, выбирая из этих строк элементы для $1, k_j$ под условием

$$x_{ij} = x_{ij} \min,$$

получаем вектор вида

$$[x_{ij}] 1 * k_j.$$

Каждый из элементов этого вектора характеризует потенциальную возможность данного ресурса по i -му ассортименту (изделию). Выполнив аналогичные расчеты для каждого $j=1, n$, получим матрицу вида

$$[x_{ij}] n * m.$$

Выбирая из i -х столбцов этой матрицы элементы $x_i = x_{ij} \min$, получим вектор вида

$$M = [x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m], (a)$$

характеризующий оценку производственной мощности структурного производственного подразделения (или организации).

Вычисляя векторы вида по всем подразделениям предприятия и приведя их к гомогенности (однородности), ПМ r -го предприятия можно получить по модели:

$$M_r = \sum M \quad (6)$$

Эта формула оценивает ПМ в натуральных показателях. Для оценки мощности в условно натуральных (M_y) и стоимостных (M_c) показателях можно воспользоваться соответственно формулами:

$$\begin{aligned} M_y &= M [M_{yi}] m^{*1}, \\ M_c &= M [C_i] m^{*1}, \quad (c) \end{aligned}$$

где M_{yi} , C_i - цена единицы i -го изделия соответственно в условно натуральных и стоимостных показателях.

Подставляя (а) и (б) в (с), соответственно получим, в условно натуральных и стоимостных показателях мощность предприятия. Производственная мощность - величина динамическая, поэтому ее рекомендуется рассчитывать с учетом изменения количества и качества j -х ресурсов на конкретные граничные моменты времени (начало, середина, конец) расчетного периода и использовать линейную интерполяцию. Если изменения ПМ в расчетном периоде будет носить нелинейный характер, то целесообразно по ее граничным оценкам найти с использованием метода наименьших квадратов аппроксимирующий тренд и по нему определять мощность на любой момент этого периода.

Расчетный фонд рабочего времени производственных ИТР.

В расчетах производственной мощности должен применяться максимально возможный (расчетный) фонд рабочего времени производственных инженерно технических работников. На расчетный период фонд рабочего времени для одного ИТР (F_r), с учетом специфических особенностей геодезического производства, можно вычислить по формуле:

$$F_r = F_n - N, \quad (7.6) \quad \text{где } F_n = (D - (D_b + D_n + D_o)) K_c$$

t – номинальная часть фонда; $N = (O + C) K_c$ t – изменяемая часть фонда;
 D - число календарных дней в расчетном периоде;

D_n - количество праздничных дней в расчетном периоде;

D_o - количество дней основных и дополнительных отпусков в расчетном периоде;

D_b - количество выходных дней в расчетном периоде;

K_c - количество рабочих смен за одни сутки на одного работника;

t - количество рабочих часов в смене;

O - количество нормируемых дней на организационно-ликвидационные мероприятия (орглики) в расчетном периоде;

C - количество дней в расчетном периоде, необходимых на переезды с базы организации на объект и обратно.

Если производственная мощность полевого производства рассчитывается только на полевой период, а также для камерального производства, то $O = 0$ и $C = 0$. Общий фонд времени – Φ_k для L_k -го количества ИТР k -й квалификации, $k = 1, n$: $\Phi_k = \Phi_p L_k$. (д)

По формуле (д) можно вычислить фонд рабочего времени как полевиков, так и камеральщиков. При этом $K_c = 1$.

Пример. Определить рабочий фонд времени на полевой период техника-геодезиста, работающего в полевых условиях в 2000 г., и годовой фонд рабочего времени техника, работающего в камеральном производстве. Согласно условия, для полевика расчетный период равен полевому периоду и составляет более шести месяцев (с 1.05 по 31.10). 1) по календарю на 2019 г. для пятидневной рабочей недели при 8-часовом рабочем дне находим: $D = 184$, $D_n = 4$, $D_b = 52$; 2) в соответствии с трудовым законодательством РФ примем: $D_o = 12$, $K_c = 1$, $t = 8$. По формуле (д) рассчитаем на полевой период при

$$O = 0, C = 0: \Phi_n = (184 - (52 + 4 + 12)) * 1 * 8 = 928 \text{ раб.час/чел.};$$

$$N = (0 + 0) * 1 * 8 = 0; \Phi_p = 928 + 0 = 928 \text{ раб.час/чел.}$$

$$\Phi_p = 116 \text{ раб.дн. } \Phi_p = 5.5 \text{ раб.мес.}$$

принимая $D_o = 12$, $K_c = 1$, $t = 8$ получим по (д) годовой фонд рабочего времени на одного ИТР камерального производства:

$$\Phi_r = (366 - (106 + 8 + 24)) * 1 * 8 - (0 + 0) * 1 * 8 = 1824 \text{ раб.час.}$$

$$\Phi_r = 1824 / 8 = 228 \text{ раб.дн. } \Phi_r = 1824 / 167.3 = 10.9 \text{ раб.мес.}$$

Расчетный фонд времени работы оборудования

Максимально возможный фонд рабочего времени для единицы геодезического оборудования рассчитывается по формуле:

$$F_r = \Phi_p n - N_p, \text{ (7.8) где } \Phi_p n = (D - (D_b + D_n)) * K_c *$$

t - номинальная часть фонда времени; $N_p = (O + C + D_r) * t$ - изменяемая часть фонда времени;

D_r - количество нормируемых дней на текущий ремонт оборудования.

При расчете фонда рабочего времени для полевого производства $K_c = 1$, а для камерального $K_c = 2$. Общий расчетный фонд времени работы однотипного оборудования можно вычислить как:

$$F_j = F_p * R_j, \text{ (е)}$$

где R_j - количество единиц оборудования j -го вида, шт, $j = 1, n$.

Пример. Определить расчетный фонд времени на 6-ти месячный полевой период работы приемников «Leica» - спутниковой системы GPS, если планируется затратить на текущий ремонт оборудования (одного приемника) шесть дней. Система состоит из трех рейсовых и одного базового приемников. При $t = 8$ час /день, принимая: $K_c = 1$; $D = 184$; $D_b = 52$;

$$D_r = 6, \text{ получим для одного приемника } F_p.GPS = (184 - (52 + 4)) * 1 * 8 - (0 + 0 + 6) * 1 * 8 = 976 \text{ часов / ед.обор.,}$$

$$\text{или } F_p.GPS = 122 \text{ раб.дня. /ед.обор.,}$$

или $Fp.GPS = 5.8 \text{ раб.мес. /ед.оборот.}$

И для системы в целом (для трех рейсовых приемников) по формуле (е) будем иметь

$$FGPS = 5.8 * 3 = 17.4 \text{ раб. мес./сист. GPS.}$$

Технико-экономические нормы по труду и оборудованию.

Нормы и нормативы затрат труда и оборудования, используемые в расчетах производственной мощности геодезического предприятия, должны быть обоснованными, прогрессивными, динамичными, комплексными по отдельным укрупненным процессам. Учитывая низкий коэффициент механизации и автоматизации труда в геодезическом производстве, для камеральных и полевых работ по факторам «кадры» и «оборудование» рекомендуется применять по процессам одни и те же нормы времени.

Для труднодоступных районов, где в качестве технологических транспортных средств используется выючной или гужевой транспорт, нормы выработки (времени) на процессы работ пересчитываются с учетом технологических переездов конкретным видом транспорта. Прогрессивность норм затрат труда и оборудования определяется по формуле:

$$T_i = H_{bi} * K_i, (\text{ж})$$

где T_i - прогрессивная норма времени (трудоемкости) для i -го изделия, бр.час/изд.;

$H_b = H \cdot T \cdot b * k_n * k_{cu} * k_{пт} * k_{др}$ - норма времени по прогрессивной технологии бр.час./изд.;

$H \cdot T \cdot b$ - табличное значение нормы времени (по ЕНВ);

k_n - коэффициент за работу в ненормализованный период года (за пределами полевого периода);

k_{cu} - коэффициент, учитывающий изменение организационнотехнических условий труда;

$k_{др}$ - коэффициент, предусмотренный примечанием к норме времени по ЕНВ;

$k_{пт}$ - коэффициент, учитывающий рост производительности труда;

K_i - коэффициент прогрессивности выполнения норм времени.

Данный коэффициент определяется по формуле:

$$K_i = 100 \cdot \frac{\sum_{j=1}^n l_j}{\sum_{j=1}^n P_j} \cdot \frac{1}{P_i}, (3)$$

где l_j - фактическое выполнение норм в j -й группе передовиков производства, выполняющей норму времени (выработки) выше средневесового значения, рассчитанного для общего числа производственных ИТР по i -му процессу (изделию), процент;

P_j - весовой коэффициент (количество бригад или работников при индивидуальном труде в l -вой группе) при условии, что $P_{ij} \geq 0.25 * C_i$; ; C_i - общее количество бригад (работников), выполняющих i -й процесс на предприятии.

Пример. Определить прогрессивную норму времени и выработки в день на процесс: комбинированная съемка масштаба 1 : 2 000 с сечением рельефа через 0,5 м на фотопланах, если известно: 1) съемка выполняется в Навоийской области в октябре, где полевой сезон 4 мес.; 2) кипрегель КН усовершенствован дальномерной насадкой и уровнем при трубе, что позволяет повысить производительность труда в 1,2 раза; 3) комплект увеличенных снимков исполнителю не выдан, вследствие этого производительность снижается в 0,97 раза; 4) фотоплан составлен по аэрофотоснимкам залета 3-летней давности, поэтому производительность труда снижается в 0,91 раза; 5) категория трудности съемки - 4; 6) в предприятии на изготовлении данной продукции в предыдущем году работало 8 исполнителей.

Средневесовая производительность достигла 115%. Наибольшие достижения производительности труда в четырех бригадах: 140%, 132% - и в двух по 120%.

Решение. 1) Сгруппируем исходные данные в соответствии с условием задачи. Наименование процесса Единица измерения Категория трудности Н т
 б кн ку кпт кдр Комбинированная съемка на фотоплане, М = 1 : 2 000 км 2 4
 124 1.18 1/0.97 /1.2 1 2) Определим k_i , k_u , $k_{пт}$:

$k_i = 100(1 + 1 + 2)/(140*1 + 132*1 + 120*2) = 100*4/512 = 0.78$, $k_u = 1/0.97 = 1.03$;

$K_{пт} = 1/1.2 = 0.83$;

$K_{др} = 1.3$

Найдем H_{bi} и T_i : $H_i = 149*1.18*1.03*0.83*1 = 150.3$ бр.час./км²,

$T_i = 150.3*0.78 = 117.26$ бр.час./км².

Ответ: 1) норма времени в днях $117.2/8 = 14.65$ бр.дн./км²;

2) норма выработки в день $1/14.65 = 0.07$ км² /бр. день.

Методические рекомендации по расчету производственной мощности

При расчете производственной мощности геодезической организации по вышеприведенной экономико-математической модели целесообразно придерживаться в методическом плане следующей последовательности. **Расчет производственной мощности в натуральных показателях.** Определяются для плановой номенклатуры выпуска и объемов продукции нормативные данные на основе справочника укрупненных норм (СУН) или единых норм времени (ЕНВ). Коэффициенты, корректирующие нормы времени, определяются из анализа производительности труда за предыдущий период (год) с необходимой корректировкой на плановый период. Необходимое прогрессивное оборудование выписывается из ЕНВ или технических проектов. Если в предприятии есть более прогрессивное оборудование, то в расчеты принимается оно. 1.2.

Для всех процессов работ по каждому ресурсу (его лимитирующей группе) рассчитывается прогрессивная норма времени $T_{плji}$ по формуле:

$$T_{\eta\lambda ji} = 1/N T_{\text{выр.},j,i} * k_n * k_y * k_{\text{пт}} * k_{\text{др}} * K_i.$$

Если коэффициент не указан, то его значение принимается равным единице. 1.3.

По формулам (а), (б), (с), (д) вычисляется для каждой группы ресурсов расчетный фонд рабочего времени на единицу ресурса.

Определяется общий расчетный фонд рабочего времени по каждой группе j-го ресурса по формуле:

$$[F_{\eta\lambda j}]_{1,kj} = [y_{\eta\lambda j}]_{1,kj} [\xi_{\eta\lambda j}]_{kj} [\Phi_{\lambda j}]_{kj},$$

Общий расчетный фонд рабочего времени каждой группы ресурсов распределяется по процессам работ пропорционально прогрессивным трудоемкостям заданного объема (x_{1i}) по формуле:

$$[F_{\eta\lambda j,i}]_{1*m} = [F_{\eta\lambda j}]_{1,kj} * ([x_{1i}]_{1,m} * [T_{\eta\lambda j,i}]_{m,1})^{-1} * ([x_{1i}]_{1,m} * [T_{\eta\lambda j,i}]_{m,1}).$$

Рассчитывается потенциальная возможность каждой λ -й группы j-го ресурса по формуле:

$$[x_{\lambda j,i}]_{1*m} = [F_{\eta\lambda j,i}]_{1*m} * ([T_{\eta\lambda j,i}]_{m,1})^{-1} * m.$$

Пункты повторяются для каждого j-го ресурса. Из всех значений потенциальных возможностей по строке i-го процесса (изделия) выбирается наименьшее, которое является производственной мощностью предприятия (подразделения) по данному процессу x_i .

Составляется вектор производственной мощности $M = [x_i]_{1,m}$.

Расчет производственной мощности в условно-натуральных показателях.

Определяется общая приведенная к простому труду (труду рабочего 1-го разряда) прогрессивная трудоемкость объемов i-х процессов, составляющих производственную мощность, и делится на приведенную трудоемкость единицы условно-натуральной продукции (на начало 2019 г., $t_y = 4.63$ чел.мес. раб.1 разр./кв.км) $M_y = [\sum u_j \delta_i T_{\eta\lambda ji}]_{m*1} [x_i]_{m*1} / t_y$.

За условно-натуральный (агрегированный) объем принимается топографическая съемка масштаба 1:5000, выполненная контурно-комбинированным методом, с сечением рельефа 2 метра по 3 категории сложности всего комплекса геодезических и топографических работ, включая создание и ГГС, и цифровой модели местности. Агрегированный показатель разрабатывается и периодически корректируется отраслью, и для всех предприятий отрасли является единым.

Расчет производственной мощности в стоимостных показателях.

Определение производственной мощности в стоимостных показателях может быть выполнено способами: калькулированием затрат на выполнение объемов вектора M ; расчетом их сметной стоимости по укрупненным

расценкам или прямым счетом; умножением M_u на стоимость единицы условно-натурального показателя. Надеемся, что читатель знаком с этими способами, поэтому на их описании останавливаться не будем. 7.6. Определение необходимого количества производственных ресурсов для выполнения заданных объемов работ. Задача определения объема необходимых производственных ресурсов: кадров, оборудования, транспорта - возникает при объемном текущем планировании каждый раз, когда изменяется номенклатура товарной продукции по сравнению с предыдущим плановым периодом и в случаях создания нового предприятия и определения его размеров. Определение необходимых ресурсов ведется по каждой группе по формуле:

$$[Y_{\lambda j}]1 * k_j = ([x_{1 i}]1 * m [T_{\lambda j, i}]m * k_j) [(F_{\lambda j, i})^{-1} [(K_{\lambda j})^{-1}]], \quad (к)$$

где $[Y_{\lambda j}]1 * k_j$ - вектор элементов $y_{\lambda j}$ j -го количества j -го ресурса λ -й группы, $\lambda = 1, k_j$;

$[x_{1 i}]1 * m$ - вектор элементов $x_{1 i}$ j -заданного на расчетный период объема i -го ассортимента продукции, $\lambda = 1, m$;

$[T_{\lambda j, i}]m * k_j$ - матрица прогрессивных трудоемкостей (норм времени) i -х ассортиментов продукции для λ -й группы i -го ресурса;

$[(F_{\lambda j})^{-1}]k_j$ - диагональная матрица элементов $(F_{\lambda j})^{-1}$ -расчетного фонда времени на единицу λ -й группы i -го ресурса;

$K_{\lambda j}$ - коэффициент использования потенциальной возможности (мощности) λ -й группы j -го ресурса.

Коэффициент $K_{\lambda j}$, входящий в (к), может рассчитываться как среднеарифметическое за 3-4 последних года путем деления максимально возможного годового фонда рабочего времени ресурса на время, фактически отработанное им в течение года. При определении ресурсов для вновь организуемого предприятия данный коэффициент может быть принят равным 0.85 или определен по предприятию-аналогу, работающему в условиях, максимально приближенных создаваемому предприятию.

Производительность труда и занятость рабочей силы.

При росте производительности труда увеличивается показатель предельной производительности труда, который, в свою очередь, зависит от факторов производства и наличного рынка труда. Отдельное предприятие отрасли, решая вопрос о том, какое количество работников ему следует нанимать, должно определить цену спроса на труд, т.е. уровень заработной платы. Цена же спроса на любой фактор производства (труд здесь не является исключением) зависит от его предельной производительности, т.е. от предельной производительности труда. Предельная производительность труда - это приращение объема выпускаемой продукции, вызванное использованием дополнительной единицы труда при фиксированных остальных условиях. Исчисляется, исходя из предельного продукта труда, под которым понимается

прирост продукции, произведенной в результате найма еще одной (дополнительной) производительной единицы труда.

Следовательно, руководство предприятий отрасли, исходя из необходимости повышения производительности труда за счет оптимизации всех привлекаемых к производству ресурсов, будет применять или вытеснять труд, в том числе и живой, достигая уровня предельной производительности. И никто не заставит его поступать иначе, поскольку под угрозой оказываются интересы выживания предприятия в условиях конкурентной среды. В такой ситуации возникает проблема излишней рабочей силы, т.е. безработицы, неполной занятости.

Проблема рационального использования рабочей силы становится одинаково важной как для руководителей предприятия, т.е. работодателей, так и для отрасли и государственных органов управления, которые призваны решать вопросы социальной защиты людей, временно оказавшихся безработными. Проблема занятости высвобождаемых на предприятии работников - важный вопрос рыночной экономики. Переход на рыночную экономику в нашей стране потребовал изменения законодательной базы, изменений в статистических показателях.

Появились новые, не характерные ранее для нашей экономики термины, такие, как «уровень безработицы», «продолжительность безработицы», «наемные работники», «работодатели», «экономически активное население» и т.д. Вырабатываются и основные требования к руководству предприятия, предъявляемые со стороны государственных органов в рамках трудового законодательства. Основными из этих требований являются следующие:

1. Работодатели должны своевременно, не менее чем за три месяца, представлять в органы государственной службы занятости населения и соответствующие профсоюзные органы информацию о возможных массовых увольнениях.

2. Не позднее, чем за два месяца работодатели обязаны сообщать по определенной форме в органы службы занятости сведения о предстоящем высвобождении конкретного работника.

3. Работодателям вменяется в обязанность при заключении коллективного договора предусмотреть: мероприятия, направленные на сокращение рабочего времени без сокращения численности работников; предоставляемые льготы и компенсации высвобожденным работникам сверх установленных законодательством; порядок организации профессиональной подготовки, переподготовки и повышения квалификации высвобождаемых работников до наступления срока расторжения трудового договора; гарантии по оказанию содействия в трудоустройстве отдельных категорий высвобождаемых работников; обязательство по заключению страховки с органами государственного страхования рабочих и служащих на случай потери работы; другие меры, способствующие социальной защищенности работников, увольняемых при массовом высвобождении.

При кратковременном снижении объемов производства целесообразно предусмотреть меры, позволяющие избежать сокращения численности работников, например: временное приостановление найма новых работников на вакантные рабочие места; перевод работников предприятия на режим неполного рабочего времени; предоставление работникам отпуска без сохранения заработной платы. Весь этот комплекс мер преследует цель социально защитить временно высвобождаемых работников, предоставить им возможность либо найти новую работу по прежней специальности, либо пройти курс переподготовки. Получение статуса безработного - это новое явление в нашем обществе и здесь важен целый ряд компенсационных мер, которые смогли бы снять психологический стресс у человека, который попал в эту ситуацию. Нужно отметить, что геодезические предприятия массового увольнения не производят, стремятся в острой ситуации с целью сохранения кадров развить другой вид производственной деятельности и поэтому в настоящее время ощущается даже дефицит квалифицированной.

Основные направления научно-технического прогресса в геодезическом производстве. Научно-технический прогресс оказывает непосредственное воздействие на производство через важнейшие направления его развития, которые выступают в качестве материально-вещественных, экономических и организационных факторов воспроизводства. Применительно к геодезическому производству, его элементами являются создание и широкое применение более эффективных геодезических и фотограмметрических приборов и инструментов на базе микропроцессорной техники, космических съемок для тематического картографирования территорий и целей мониторинга земель, спутниковых методов определения координат, геоинформационных технологий с целью управления территориями и др. Прямое отношение к развитию научно-технического прогресса имеет внедрение рациональных форм управления, организации и оплаты труда, подготовки высококвалифицированных кадров.

Основными направлениями научно-технического развития геодезического производства на современном этапе являются следующие:

- технико-технологические: разработка и использование средств автоматизации полевых и камеральных работ; внедрение роботизированных средств и технологий цифрового картографирования; создание и использование автоматических средств дешифрирования космических снимков для целей тематического картографирования и мониторинга территорий; дальнейшее совершенствование технологий геодезических работ с акцентуацией на замене полевых работ камеральными; автоматизация крупномасштабных съемок и инженерно-геодезических работ и др;

- разработка новых приборов и технологий съемки шельфа, ориентации шахт и дистанционного выполнения инженерно-геодезических работ на сложных объектах; разработка и производство новых видов геодезической продукции массового потребления; создание специализированных средств

технологического транспорта для полевых геодезических работ. Организационно-экономические:

- развитие специализации и концентрации производства; оптимизация структуры и размеров геодезических предприятий; совершенствование бригадной формы организации труда с оценкой по конечному результату; совершенствование форм материального стимулирования труда;

- разработка и внедрение методов низового и внутрипроизводственного коммерческого расчета; разработка и внедрение современных производственно-бытовых условий полевиков;

- подготовка высококвалифицированных кадров. Ускорение научно-технического прогресса зависит от научно-технического потенциала общества, характеризуется комплексной оценкой уровня развития науки и техники, возможностей и ресурсов, которыми располагает государство и отрасль для решения научно-технических проблем.

Основными показателями функционирования научно-технического потенциала являются наличие квалифицированных научно-технических кадров, материально-техническое обеспечение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, развитие системы научно-технической информации, планирование и управление в науке и технике, финансирование научно-технических исследований.

Экономическая эффективность научно-технического прогресса.

При характеристике научно-технического прогресса (новой техники) целесообразно определять технологическую и экономическую эффективность мероприятий. Экономическая оценка представляет собой определение влияния научно-технического прогресса на совершенствование производственных отношений и хозяйственные результаты производства. Технологическая оценка предшествует экономической.

Она показывает роль научно-технического прогресса в развитии производительных сил общества, в создании технических разработок, в применении новых материалов, средств производства, прогрессивных технологий и их технико-технологическое преимущество по сравнению с применяемыми в производстве. При технологической оценке применения новой техники в геодезическом производстве устанавливают возможности снижения трудоемкости продукции, материалоемкости, энергоемкости, а также определяют необходимые удельные капитальные вложения.

При экономической оценке научно-технического прогресса выявляется уровень использования ресурсов, рост экономии затрат, сокращение сроков окупаемости материально-денежных затрат, ускорение темпов интенсификации производства, повышение экономической эффективности отрасли. Для этого сравнивают результаты производства конкретного вида продукции до внедрения нововведений и после применения новых технологий, техники, оборудования и методов организации производства.

Основным критерием экономической эффективности достижений научно-технического прогресса является прирост чистой продукции в целом и в расчете на душу населения.

Чем больше дохода от реализации товарной продукции при стабильных ценах приходится в отрасли на одного работника, тем выше эффективность использования материальных, трудовых и денежных ресурсов. Экономическая эффективность научно-технического прогресса характеризуется системой натуральных и стоимостных показателей.

Среди стоимостных показателей экономической эффективности научно-технического прогресса важное место отводится таким, как повышение производительности совокупного (живого и овеществленного) труда, снижение стоимости продукции, рост окупаемости затрат и фондоотдача, увеличение рентабельности производства. Главной задачей научно-технического прогресса является экономия живого труда посредством замены его, в сбалансированных размерах, трудом, овеществленным в средствах производства: машинным, механизированным и автоматизированным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая монография написана на основе многолетних исследований, проведенных авторами по инженерно-геодезическим работам, прочитанным лекциям студентам Ташкентского архитектурно-строительного института. В монографии показаны, что инженерная геодезия является чрезвычайно важной и неотъемлемой частью комплекса работ по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации железных, автомобильных дорог и сооружений на них, аэродромов, гидромелиоративных систем, объектов лесного хозяйства и лесного инженерного дела. Эти работы во многом определяют, как стоимость и качество строительства, так и условия последующей эксплуатации инженерных объектов.

На современном этапе развития научно-технического прогресса произошли фундаментальные изменения технологии и методов проектно-изыскательских работ и технологии строительства инженерных объектов, что нашло отражение в изменении состава и методов производства инженерно-геодезических работ, а также в качественном изменении парка используемого геодезического оборудования. Так, в проектно-изыскательских и строительных процессах находят все более широкое применение системы автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированные системы управления строительством (АСУС), геоинформационные системы (ГИС) и т.д.

Очевидно, инженер-строитель, инженер-мелиоратор, инженер лесного хозяйства на современном этапе должны хорошо владеть как традиционными методами геодезии (последние, так или иначе, находят и будут находить применение при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации), так и новыми современными, высокопроизводительными методами инженерно-геодезических работ. В монографии рассмотрены также экономические вопросы проведения геодезических работ. При расчете производственной мощности геодезической организации по вышеприведенной экономико-математической модели целесообразно придерживаться в методическом плане

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонович К.М. – Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Том 1, 2. Москва, Геоиздат. 2011 г. –с.340.
2. Арнольд К. – Методы спутниковой геодезии. Москва, Геоиздат. 2001 г. – с.290.
3. Богомоллова Е.С., Брынь М.Я., Грузинов В.В., Коугия В.А., Полетаев В.И. – Инженерная геодезия. Учебное пособие. В 2-х частях. Часть I. Москва, Недра. 2014г. –с.286.
4. Богомоллова Е.С., Брынь М.Я., Грузинов В.В., Коугия В.А., Полетаев В.И. – Инженерная геодезия. Учебное пособие. В 2-х частях. Часть II. Москва, Недра. 2016 г. –с.312
5. Вервейко А.П. – Землеустройство с основами геодезии. Учебник для ВУЗов. Москва, Высш.школа. 2011 г. –с.410.
6. Визгин А.А., Ганьшин В.Н. и др. Инженерная геодезия. Москва, Геоиздат. 2004 г. –с.320.
7. Войтенко С.П. – Геодинамика. Основы кинематической геодезии. Москва, Геоиздат. 2007 г. –с.275.
8. Генике А.А., Побединский Г.Г. – Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. Москва, Геоиздат. 2004 г. –с.290.
9. Глинский С.П. и др. – Геодезия. Уч. пос. для техникумов. Москва, Недра. 2017 г. –с.211.
10. Голубева З.С. и др. – Практикум по геодезии. Учеб.пособие для вузов. Москва, Недра. 1998 г. –с.268.
11. Девис Р.Е. и др. – Геодезия. Теория и практика. Москва, Недра. 2012 г. – с.290.
12. Дьяков Б.Н. – Геодезия. Общий курс. Москва, Высш.школа. 2007 г. –с.360.
13. Ермаков В.С. и др. – Инженерная геодезия. Геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации морских и воднотранспортных сооружений. Москва, Высш.школа. 1999 г. –с.370.
14. Ермаков В.С., Загрядская Н.Н. и др. – Инженерная геодезия. Землеустройство. Учебное пособие. Москва, Высш.школа. 2008 г. –с.290.
15. Закатов П.С. – Курс высшей геодезии. Москва, Высш.школа. 2005 г. –с.310.
16. Интулов И.П. – Инженерная геодезия в строительном производстве. Учебное пособие. Москва, Высш.школа. 2005 г. –с.287.
17. Карабцова З.М. – Геодезия. Москва, Высш.школа. 1996 г. –с.290.
18. Каула У. – Спутниковая геодезия. Теоретические основы. Москва, Недра. 2008 г. –с.290.
19. Ключин Е. Б., Кисельов М. И., Міхелєв Д. Ш., Фельдман В. Д. – Інженерна геодезія. Підр. для вузів. Київ. 1999 г. –с.356.
20. Красовский Ф.Н. – Избранные сочинения. В 4-х томах. М. Геология. 1998 г.
21. Красовский Ф.Н. – Руководство по высшей геодезии. Курс Геодезического факультета Московского Межевого Института. 2002 г. –с.239.

22. Куштин И.Ф. – Инженерная геодезия. Москва, Высш.школа. 2007 г. –с.320.
23. Куштин И.Ф. – Геодезия. Учебно-практическое пособие. Москва, Высш.школа. 2011 г. –с.246.
24. Левицкий И.Ю., Крохмаль Е.М., Реминский А.А. – Геодезия с основами землеустройства. Москва, Высш.школа. 1998 г. –с.310.
25. Левчук Г.П. и др. – Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. Москва, Высш.школа. 1999 г. –с.318.
26. Лукьянов В.Ф. и др. – Лабораторный практикум по инженерной геодезии. Учеб.пособие для ВУЗов. Москва, Высш.школа. 2009 г. –с.296.
27. Манухов В. Ф., Тюряхин. А. С.- Инженерная геодезия. Основы геодезических измерений с элементами метрологического обеспечения учеб. Пособие. Москва, Высш.школа. 2003 г. –с.376.
28. Меллер И. – Введение в спутниковую геодезию. Москва, Недра. 2006 г. – с.289.
29. Михаленко Е.Б. и др. – Инженерная геодезия. Геодезические разбивочные работы, исполнительные съемки и наблюдения за деформациями сооружений. Москва, Высш.школа. 2002 г. –с.322.
30. Михаленко Е.Б., Беляев Н.Д. и др. – Инженерная геодезия. Геодезические разбивочные работы. Москва, Высш.школа. 2006 г. –с.294.
31. Михаленко Е.Б., Загрядская Н.Н. и др. – Инженерная геодезия. Решение основных инженерных задач на планах и картах. Москва, Высш.школа. 2009 г. –с.290.
32. Молоденский М. С. – Основные вопросы геодезической гравиметрии. Москва, Высш.школа. 2001 г. –с.296.
33. Морозов В.П. – Курс сфероидической геодезии. Москва, Высш.школа. 2010 г. –с.282.
34. Неумывакин Ю.К., Смирнов А.С. – Практикум по геодезии. Москва, Высш.школа. 2009 г. –с.290.
35. Новак В.Е. и др. – Курс инженерной геодезии. Учебник для ВУЗов. Москва, Высш.школа. 2011 г. –с.334.
36. Новиков В.И., Рассада А.Б. – Основы геодезии и картографии. Москва, Высш.школа. 2009 г. –с.312.
37. Огородова Л.В. – Высшая геодезия. Учебник. Москва, Высш.школа. 2017 г. –с.328.
38. Пеллинен Л.П. – Высшая геодезия. Москва, Высш.школа. 2018 г. –с.296.
39. Поклад Г.Г., Гриднев С.П. – Геодезия. Учебное пособие для ВУЗов. Москва, Высш.школа. 2019 г. –с.329.
40. Селиханович В.Г. и др. – Практикум по геодезии. Учебное пособие. Москва, Высш.школа. 2018 г. –с.293.
41. Сироткин М.П. – Справочник по геодезии для строителей. Москва, Строитель. 2017 г. –с.319.
42. Смолич С.В., Верхотуров А.Г. – Инженерная геодезия. Учебное пособие. Москва, Высш.школа. 2017 г. –с.348.
43. Тахеометр SOKKIA. Руководство по эксплуатации.

44. Урмаев М.С. – Орбитальные методы космической геодезии. Москва, Высш.школа. 2016 г. –с.267.
45. Федотов Г.А. – Инженерная геодезия. Москва, Высш.школа. 2018 г. –с.326.
46. Хейфец Б.С., Данилевич Б.Б. – Практикум по инженерной геодезии. Москва, Высш.школа. 2019 г. –с.318.
47. Чернявский С.М. – Учебно-полевая практика по инженерной геодезии. Москва, Высш.школа. 2015 г. –с.315.
48. Яковлев Н.В. – Высшая геодезия. Москва, Высш.школа. 2017 г. –с.319.
49. Яковлев Н.В. – Практикум по высшей геодезии. Вычислительные работы. Москва, Высш.школа. 2018 г. –с.244.
50. Heiskanen W., Moritz H. – Physical.geodesy. NY. 2009y. -290 p.
51. Seeber G. – Satellite Geodesy. NY. 2018 y. -340 p.
52. Фойгт И. Инженерная геодезия. Москва, Высш.школа. 2012 г. –с.214.
53. Степанов Б.М. Геодезия. Москва, Высш.школа. 2019 г. –с.226.
54. Петросов И.М., Михайлов Б.С. Геодезия. Общий курс. Москва, Высш.школа. 2019 г. –с.262.
55. Арбузов В.С. Геодезия и маркшейдерское дело. Москва, Высш.школа. 2018 г. –с.229.
56. Рахимбабаева М.Ш. Превентивные способы предотвращения пожаров и взрывов резервуарных парков нефтехранилищ. 3-Республиканская конференция молодых ученых. Ташкент. 2020г. Академия МЧС РУз. 13-марта 2020 года.
57. Камалова Д.М. Some methods of a obtaining fire proof monolithic flooring. 3-Республиканская конференция молодых ученых. Ташкент. 2020г. Академия МЧС РУз. 13-марта 2020 года.
58. Камалова Д.М., Исламова З.К., Рахимбабаева М.Ш. Классификация чрезвычайных ситуации. Технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций. Сборник материалов VI Международной заочной научно-практической конференции. Минск. 20 мая 2020 года.
59. Рахимбабаева М.Ш., Камалова Д.М., Исламова З.К. Снижение пожаровзрывоопасности нефтехранилищ разработкой новых плавающих понтонов. Технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций. Сборник материалов VI Международной заочной научно-практической конференции. Минск. 20 мая 2020 года.
60. Yusupov U.T., Rakhimbabaeva M. Fire proof monolithic flooring – advantages and disadvantages. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences № 11-12, 2019. November-December.

Оглавление

Предисловие.....	3
Введение.....	5
Краткий исторический очерк развития геодезии.....	12
Значение инженерной геодезии в народном хозяйстве	15
Зачем нужно проведение геодезических работ на участке.....	19
Особенности и принципы функционирования геодезического производства.....	29
Роль геодезии в строительстве.....	36
Фигура земли.....	37
Метод проекций.....	41
Главные геодезические задачи.....	51
Абсолютные и относительные высоты.....	54
Критерии оценки точности измерений.....	58
Оценка точности не прямых измерений.....	63
Обратная задача теории ошибок.....	70
Метод наименьших квадратов.....	71
Топографические карты и планы. Карта, план, профиль.....	72
Масштабы планов, применяемых в строительстве.....	77
Разграфка и номенклатура планов и карт.....	80
Изображение рельефа местности.....	85
Условные знаки топографических планов и карт.....	89
Определение прямоугольных координат.....	91
Определение геодезических координат.....	93
Определение крутизны ската.....	96
Определение уклона заданной линии.....	98
Построение профиля и определение видимости между точками....	99
Принцип измерения углов.....	103
Геодезические приборы для измерения углов, их устройство.....	106
Угломерные круги.....	108
Поверки и юстировки теодолита.....	112
Измерение горизонтальных углов способом приемов.....	116
Измерение горизонтальных углов способом повторений.....	120
Измерение горизонтальных углов способом круговых приемов....	121
Ошибки измерения горизонтальных углов.....	124
Значение геодезии при выполнении других строительных работ...	128
Геодезические работы при строительстве гидротехнических сооружений.....	129
Геодезические работы при строительстве подземных коммуникаций.....	131
Геодезические работы при планировании и застройке населённых пунктов.....	132
Геодезические работы при строительстве дорог и мостовых сооружений.....	134

Экономические аспекты выполнения геодезических работ.....	142
Основы экономики геодезического производства.....	143
Тип геодезического производства.....	145
Научно-технические принципы.....	147
Организационно-экономические принципы.	
Единство норм и нормативов.....	148
Экономико-математическая модель производственной мощности ..	150
Расчетный фонд рабочего времени производственных ИТР.....	152
Расчетный фонд времени работы оборудования.....	153
Технико-экономические нормы по труду и оборудованию.....	154
Методические рекомендации по расчету производственной мощности.....	155
Расчет производственной мощности в условно- натуральных показателях.....	156
Расчет производственной мощности в стоимостных показателях...	156
Производительность труда и занятость рабочей силы.....	157
Экономическая эффективность научно-технического прогресса....	160
Заключение.....	162
Список использованной литературы.....	163

**Камалова Д.М., Исламова З.К., Хайдарова Н.А.,
Рахимбабаева М.Ш.**

ЗНАЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ В СОВРЕМЕННОМ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ

Монография

*Камалова Дилноза Мирфазиловна - ассистент Ташкентского
архитектурно-строительного института*
*Исламова Зулфия Камилджановна - ассистент Ташкентского
архитектурно-строительного института*
*Хайдарова Наргиза Анваровна - ассистент Ташкентского
государственного экономического университета*
*Рахимбабаева Мархамат Шакировна – старший преподаватель
Ташкентского архитектурно-строительного института*

Отпечатано в типографии ТИТИЛП
Тираж 100 экз. формат А5, объем 12,2 п.л.
Разрешено в печать от 20.01.2021 г.
Адрес типографии: г.Ташкент, ул. Ш. Руставели, д.23.