

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!

Если вы скопируете данный файл,
Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .
Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.
Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

528(07)

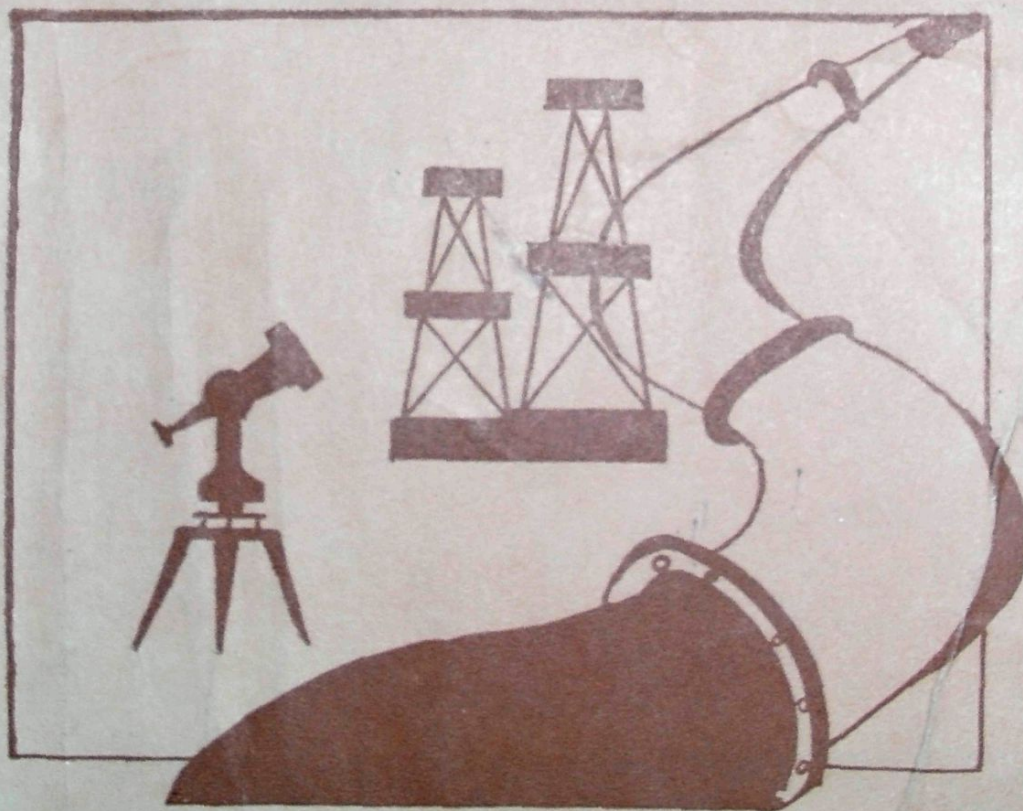
Б 12

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

УФИМСКИЙ НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ

*Л. А. Бабин,
Ф. Т. Ахметзянова,
В. С. Маляревич*

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ,
ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ
И ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАСС
МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ



УФА • 1981

528(07)
Б 12

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РСФСР

УФИМСКИЙ НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ

Л.А. Бабин, Ф.Т. Ахметзянова, В.С. Маляревич

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ
ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ
ТРАСС МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

учебное пособие

Проверен в 1985 г.

У ф а 1981

528.486

УДК
Бабин Л.А., Ахметзянова Ф.Т., Маляревич В.С. Геодезические работы,
выполняемые при изысканиях и проектировании трасс магистральных
трубопроводов. - Уфа: Изд. Уфимск. нефт. ин-та, 1981. - 56 с.

В учебном пособии кратко изложены виды и стадии изыскательских
работ при проектировании трасс магистральных трубопроводов, а
также методы их оптимизации.

В пособии описываются методы и точность геодезических работ
по оси трассы проектируемого магистрального трубопровода, да-
ется описание некоторых геодезических приборов, применяемых
при изысканиях нефтегазопроводов.

Значительная часть пособия отведена геодезическому обслужи-
ванию изыскательских работ при трубопроводном строительстве.

Учебное пособие может быть использовано студентами специаль-
ностей 0207 и 0208 в процессе изучения курса геодезии, курсо-
вого и дипломного проектирования, а также может служить прак-
тическим руководством для специалистов, занимающихся изыскани-
ями и проектированием трасс магистральных трубопроводов.

В пособии рассмотрено решение и таких задач, которые не
всегда входят в обязательный минимум изучаемого объема курса
геодезии для этих специальностей, но представляют определенный
практический и научный интерес.

Табл. 10, ил. 29, библиогр. список 24 назв.

Инв. №

Библиотека УНИ

ВВЕДЕНИЕ

Высокие темпы развития народного хозяйства СССР вызывают с
каждым годом все более значительный рост протяженности магист-
ральных трубопроводов различного назначения.

В соответствии с решениями XXV съезда КПСС в X пятилетке по-
строено свыше 35 тыс. км газопроводов, 15 тыс. км нефтепроводов и
3,5 тыс. км нефтепродуктопроводов. Все это требует своевременно-
го обеспечения трубопроводного строительства высококачественными
проектами при сокращении сроков проектирования.

Проектные решения в существенной степени зависят от изыска-
ний, в процессе которых должны быть проведены анализы и сопо-
ставление конкретных условий, влияющих на стоимость, сроки стро-
ительства и надежность эксплуатации магистрального трубопровода.

Геодезические работы являются одним из основных элементов
изысканий. Эти работы включают: развитие геодезического обосно-
вания, топографическую съемку площадок и линейных участков, трас-
сирование линейных сооружений, геодезическую привязку геологи-
ческих выработок, точек гидрологических наблюдений и т.д.

В результате геодезических работ получают необходимые для про-
ектирования магистральных трубопроводов материалы: крупномасш-
табные топографические планы, продольные профили, координаты и
высоты пунктов, картограммы земляных работ, аэросъемки и т.д.
Анализ таких данных позволяет проектировщикам выбрать наиболее
экономически выгодные варианты трасс проектируемых трубопрово-
дов и установить на местности наиболее рациональное положение
всех вспомогательных объектов, установить основные технические
показатели сооружений. Поэтому настоящее пособие предназначено
для студентов специальности 0207 "Проектирование и эксплуатация
газонефтепроводов, газохранилищ и нефтебаз" и 0208 "Сооружение
газонефтепроводов, газохранилищ и нефтебаз". Пособие может быть
также использовано при решении вопросов геодезического обслужи-
вания инженерами-проектировщиками магистральных трубопроводов.

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ТРАСС МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

1.1. Понятие о трассах магистральных трубопроводов

Магистральные трубопроводы предназначены для транспортирования на дальние расстояния нефти, нефтяных продуктов, газа и воды.

Магистральные трубопроводы, как линейно-протяженные объекты состоят из подводных трубопроводов, линейных и головных сооружений, промежуточных или перекачивающих станций и других объектов, обеспечивающих работу системы в целом.

По подводным трубопроводам или ответвлениям местного назначения нефть самотеком или газ под пластовым давлением транспортируется от действующих скважин к сборным пунктам и головным сооружениям и далее по системе к потребителю.

Головные сооружения состоят из головной насосной станции (или компрессорной станции в газопроводах), создающей напор в трубопроводах до $103,3 \cdot 10^5$ Па, и парка емкостей для сбора и хранения нефти или газа. Головные сооружения располагаются вблизи промыслов или вблизи нефтеперерабатывающего завода при транспортировке нефтепродуктов.

Промежуточные станции строят на трассе через 80-100 километров (в некоторых случаях реже). Они служат для поддержания давления в трубопроводе.

Головные сооружения и промежуточные станции являются наиболее сложным комплексом сооружений трубопровода. Здесь, кроме мощной насосной или компрессорной установки, строят резервуарный парк, теплосиловое хозяйство с большой системой подземных коммуникаций, подсобные предприятия, а также культурно-бытовые, административные и жилые здания.

Для удобства эксплуатации вдоль трассы трубопровода прокладывают телефонную линию и дорожные магистрали.

Основным элементом трассы является план - её проекция на

горизонтальную плоскость и продольный профиль - вертикальный разрез по проектируемой линии сооружения.

Основная составляющая часть магистрального трубопровода - это линейная часть. Она включает в себя трубы, конструкции и оборудование, отключающую аппаратуру, инженерные сооружения через различные естественные и искусственные препятствия.

Каждый участок линейной части укладывается на местности с различными физико-географическими, топографическими, гидрогеологическими условиями, влияющими на капитальные затраты, необходимые для сооружения трубопровода. Следовательно, перед проектной организацией при выборе трассы стоит задача так уложить линейную часть трубопровода, чтобы трасса была наиболее выгодной в экономическом отношении, создавала условия для выполнения строительных и монтажных работ наиболее простым способом и обеспечивала наилучшие условия эксплуатации трубопровода.

Трассой принято называть транспортную линию оси трубопровода, запроектированную с учетом отмеченных выше факторов и требований строительных норм и правил (СНиП). На основе обобщения значительного числа фактических и проектных данных составлены четыре модели трасс магистральных трубопроводов: равнинно-холмистая, болотистая, горная и пустынная [2,4]. Любая трасса может быть отнесена к одной из этих моделей. Кроме того, существует большое число различных классификаций и подразделений трасс по различным характеристикам.

Классификация трасс по различным показателям используется при составлении проектов организации работ на стадии проектирования трассы и при расчете необходимого числа строительных подразделений в процессе сооружения трубопровода.

Факторы, определяющие положение трассы на местности, можно подразделить на экономические, эксплуатационные и строительные. Влияние их на положение трассы выявляется в процессе технико-экономического обоснования проектирования трубопроводов дважды: при определении принципиального направления трассы и при окончательном проектировании её по выбранному генеральному направлению [2].

На определение генерального направления трассы основное влияние оказывают экономические факторы, в число которых входят следующие показатели:

- рациональная потребность в транспортируемом продукте района, принадлежащих к магистральному трубопроводу;
- прогнозируемые и разведанные запасы нефти и газа в рассматриваемом месторождении и годовой отбор продукта;
- затраты на строительство и эксплуатацию магистралей и сравнение эффективности трубопроводного и других видов транспорта.

При выбранном генеральном направлении на процесс проектирования трассы основное внимание оказывают строительные и эксплуатационные факторы. К строительным факторам относятся протяженность трассы, объемы подготовительных работ в полосе трассы (расчистки, корчевки, планировки и так далее), физические особенности грунтов при разработке траншеи и планировке трассы, рельеф местности, сложность переходов через искусственные и естественные преграды и их число на единицу длины трассы, возможность использования механизмов и принятой технологии работ на участках с неблагоприятными природными условиями (болота, обводненные поймы рек, возгоры), наличие вдольтрассовых дорог и климатические условия.

Обобщенным критерием всего многообразия строительных показателей служат капитальные затраты на сооружение трубопровода.

Эксплуатационные факторы учитываются в процессе выбора технологической схемы трубопровода. На положение трассы они оказывают косвенное влияние через капитальные затраты. К эксплуатационным относятся факторы, отражающие надежность эксплуатации трубопровода (защита от разрушения под действием оползней, обвалов, образования карстовых или термокарстовых воронок и провалов, коррозионной активности грунтов, затопления участков на длительный период).

Эксплуатационные факторы оцениваются по годовым эксплуатационным расходам, которые по своей структуре подразделяются на фиксированные, зависящие от капитальных затрат, и нефиксированные, зависящие от технологической схемы трубопровода [4]. К фиксированным относятся амортизационные расходы и расходы на текущий ремонт, отнесенные на научно-исследовательские работы и так далее. Нефиксированные расходы складываются из затрат на заработную плату персонала, электроэнергию и топливо, управление трубопроводом. На выбор трассы они не оказывают существенного влияния.

Таким образом, положение трассы при выбранном принципиальном направлении определяют капитальные затраты на сооружение трубопроводов и часть фиксированных годовых эксплуатационных затрат, косвенно влияющих на увеличение капитальных затрат. Кроме того, на выбор трассы влияют требования норм и технических условий на проектирование магистральных газо- и нефтепроводов (СНиП П-45-75).

Таблица 1.1

Минимальное расстояние от оси нефте- и нефтепродуктопроводов до объектов и сооружений, м

Объекты и сооружения	Класс трубопровода			
	I	II	III	IV
Города, населенные пункты, промышленные предприятия, мосты железных и автомобильных дорог I и II категорий, железнодорожные станции, порты	200	150	100	75
Железнодорожные пути	100	75	50	50
Автомобильные дороги I-II категорий, отдельные нежилые здания, насосные станции данного магистрального трубопровода	50	30	30	30

Поскольку транспортируемый продукт обладает рядом физико-химических особенностей, то согласно требованиям техники безопасности (в случае разрыва труб) нельзя прокладывать магистральные трубопроводы по территории городов, населенных пунктов, промышленных предприятий, аэродромов, железнодорожных станций, морских и речных портов. Не разрешается также прокладывать их в одном тоннеле с автомобильной или железной дорогой, электрическим или телефонным кабелем.

Переходы магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов через реки и каналы прокладывают ниже (по течению) мостов, речных вокзалов, пристаней, водозаборов и сложных гидротехнических сооружений. Минимальные расстояния от оси газо-, нефте- или нефтепродуктопровода до различных строений и сооружений приведены

в табл. 1.1 и 1.2

Таблица 1.2

Минимальные расстояния от оси газопровода до объектов и сооружений, м

Объекты и сооружения	Класс и условный диаметр газопровода, мм							
	300 и менее	Более 300 до 500	Более 500 до 800	Более 800	300 и менее	Более 300	300 и менее	Более 300
Города и населенные пункты, промышленные предприятия, железнодорожные станции, мосты железных дорог I и II категорий	100	150	200	250	75	125	40	60
Железнодорожные пути и автомобильные дороги I, II, III категорий	75	125	150	200	60	100	40	60
Автомобильные дороги IV категории, подъездные железнодорожные пути, отдельные здания	30	50	100	150	30	50	25	40
Территории КС	75	125	150	200	75	125	40	60

1.2. Общая методика изыскания трасс магистральных трубопроводов

Стадии проектирования и технических изысканий. Строительство инженерных сооружений осуществляется по утвержденным проектам, разработанным на основании всесторонних комплексных изысканий. Проектирование производится, как правило, в две стадии: проектное задание и рабочие чертежи. В соответствии с этим изыскания также проводятся в две стадии: предварительные изыскания для разработки проектного задания и окончательные изыскания для составления ра-

бочих чертежей проекта. Изыскания - сбор данных о местности, необходимых для правильного проектирования.

Изыскания разделяют, в свою очередь, на экономические и технические.

Экономические изыскания. В процессе экономических изысканий на основе изучения производительных сил района, транспортных связей, сырьевых и энергетических ресурсов, а также перспективных планов развития народного хозяйства дается заключение об экономической целесообразности строительства сооружения в данном районе.

Различают проблемные и титульные экономические изыскания. Проблемные экономические изыскания выполняют при разработке сложных промышленных, транспортных или энергетических проблем одного или нескольких экономических районов и проводят до начала стадийного проектирования.

Титульные экономические изыскания выполняют на стадии, главным образом, проектного задания по отдельным, включенным в план строительства, объектам (титулам). Путем технико-экономического сравнения вариантов с учетом затрат на освоение площадки или трассы и капитальное строительство, а также на эксплуатационные расходы рекомендуется наиболее выгодный вариант.

Технические изыскания. Целью технических изысканий является определение технической возможности строительства объекта в выбранном районе и установление его основных показателей. Эти изыскания разделяют на топографо-геодезические, инженерно-геологические, гидрологические, почвенно-грун- товые, метеорологические и тому подобное.

Топографо-геодезические изыскания, состоят в подробном изучении местности в выбранном для строительства районе прокладки трубопровода с проведением съёмочных и трассировочных работ, созданием геодезической опорной основы, привязкой и нанесением на карты геологических выработок (скважин), гидрометрических створов и других данных.

Инженерно-геологические изыскания проводятся для выявления геологического строения района, мощности и несущей способности отдельных пород. При этом исследуют и подземные воды, их глубину, состав, режим, качество. При инже-

нерно-геологических изысканиях ведут геологическую съемку, буровые работы и опытные исследования.

Гидрологические изыскания включают комплекс наблюдений на водотоках и водоемах за уровнями рек и озер, скоростями и направлениями течений, глубинами вод, уклонами, расходами и так далее.

При изысканиях больших трасс трубопроводов применяют аэро-геологическую съемку, которая состоит в геологическом картировании местности при помощи аэрофотоснимков и аэровизуального ее изучения с самолета или вертолета. По аэроснимкам легко определить места с неблагоприятными геологическими условиями (карсты, оползни, обвалы, заболоченные участки), а также характер русла и поймы рек, интенсивность размыва берегов, речные отложения, типы болот. По особенностям изображения местности на аэроснимках, характеру рельефа, типу растительности можно определить примерный состав грунтов, их однородность, степень увлажнения.

Инженерно-геологическое дешифрирование аэроснимков выполняют в камеральных и полевых условиях. Качество такого дешифрирования повышается с применением цветных и спектрозональных аэроснимков. В полевых условиях большую помощь оказывают вертолеты, которые позволяют производить аэровизуальное дешифрирование трудных участков и совершать в необходимых местах посадку для определения состава и характеристики пород.

Исходным документом для начала проектирования магистрального трубопровода является техническое задание на проектирование. Оно содержит названия начального, конечного и промежуточных пунктов, сроки ввода в эксплуатацию трубопровода, его пропускную способность, производительность, число стадий проекта и сроки представления проектной документации и другие данные.

Для строительства крупных трубопроводов составляется технико-экономический доклад (ТЭД). Рассмотрим применительно к выбору трассы трубопровода каждую из стадий проектирования.

Проектное задание составляют, чтобы выявить возможные направления трассы между начальными и конечными пунктами трубопровода, а также установить технико-экономические показатели по намеченным вариантам трассы. На стадии проектного задания намечают несколько вариантов трассы и по каждому из них оцени-

вают основные характеристики трассы, по которым производят сравнительный анализ. На основании результатов этого анализа выбирают основной (оптимальный) вариант трассы, по которому ведут дальнейшее проектирование трубопровода.

После утверждения проектного задания проектирование трубопровода вступает в стадию составления рабочих чертежей. На этой стадии производят окончательную привязку трассы на местности и составляют техническую документацию, необходимую для строительства трубопровода.

Каждой стадии проектирования соответствует стадия технических изысканий, в процессе которой производят рекогносцировочное или инструментальное изучение всех характеристик местности применительно к сооружению конкретного магистрального трубопровода [2, 13].

Рекогносцировочные изыскания позволяют предварительно оценить условия строительства трубопровода между заданными пунктами. Их проводят для выявления возможных направлений трассы. На основании рекогносцировочных данных назначают конкурирующие варианты трассы. Проводят рекогносцировочные изыскания чаще всего по картографическому материалу, литературным и фондовым источникам и справочникам.

В полевых условиях, как правило, осматривают местность при минимальном объеме инструментальных работ и дают заключения. По результатам рекогносцировочных исследований в полевых условиях составляют протокол обследования трассы проектируемого трубопровода. В протоколе указывают все принятые комиссией решения, намечают возможные варианты для их технико-экономического обоснования, дают краткое километровое описание вариантов трассы, намечают возможные переходы и их вид через крупные естественные препятствия, определяют возможные пути сообщения вдоль трассы по каждому из намеченных вариантов и составляют предварительные рекомендации по строительству дорог, указывают мероприятия, которые необходимо предусмотреть в проекте.

Предварительные изыскания проводят по намеченным ранее вариантам трассы, конкурирующим между собой по технико-экономическим показателям, с целью выявить комплекс данных по каждому из них для составления всех разделов проектного задания. Применительно к трассе предварительные изыскания включают инстру-

ментальные работы и визуальные наблюдения.

1.3. Основная информация о трассе на различных стадиях проектирования

стадии

Информацию о трассе получают в результате технических исследований. Ее объем и степень детализации должны соответствовать этапам проектирования.

Оценивают трассу на первом этапе проектирования по следующим характеристикам, выраженным в дискретном (цифровом) виде: длина основной нитки; длина воздушной прямой; коэффициент развития линии; протяженность болот и заболоченных участков; протяженность скальных грунтов; переходы рек; длина участков трассы, проходящих вдоль существующих дорог и тому подобное.

Информацию по каждому из намеченных вариантов размещают в виде таблицы сравнительных показателей (табл. 1.3). В приложении к такой таблице дают краткое описание вариантов и сравнительную характеристику инженерно-геологических условий, что дополняет общий объем информации о намеченных вариантах трассы.

На следующем этапе проектирования информация носит более детальный характер, сохраняя дискретность и общую структуру оценок характеристик трассы. На каждый вид естественных и искусственных препятствий (подземный переход через водные преграды, надземный переход через водные преграды, переход через болота и обводненные участки, через автомобильные и железные дороги, строения, подлежащие сносу и так далее) составляют ведомости.

В ведомостях (табл. 1.3) дают подробную информацию о каждом препятствии и точное место расположения его на трассе.

Исходной информацией служат также различные ограничения, накладываемые на выбор варианта трассы при согласовании отвода участков земли для трубопровода.

В результате окончательных технических исследований оптимального варианта трассы проектировщикам представляется подробная информация о трассе, на основании которой они составляют рабочие чертежи трубопровода. Эта информация содержит подробные сведения всего комплекса топографо-геодезических работ, окончательные согласования с ведомствами и всеми заинтересованными

ми организациями и сведения об окончательном закреплении трассы на местности.

Таким образом, информацию, необходимую для выбора трассы и проектирования трубопровода, можно подразделить на три вида.

Таблица 1.3

Показатели вариантов трассы

Показатели	В а р и а н т ы						
	1	II	III	IV	V	VI	VII
Длина по основной нитке, км	530	619	628	666	660	700	
Длина воздушной прямой, км	532	532	532	532	532	532	
Коэффициент развития линии	1,09	1,09	1,18	1,17	1,14	1,23	
Протяженность болот и заболоченных участков, км	3,0	3,0	11,7	11,7	7,7	7,7	
В том числе болот шириной, м:							
до 500	1,9	1,9	3,0	3,0	4,0	4,0	
более 500	1,1	1,1	3,7	3,7	3,7	3,7	
Протяженность скальных грунтов, км	14	16	11	13	13	15	
Протяженность переходов рек шириной, м:							
6-30	145	167	191	213	225	247	
31-100	180	140	105	105	95	95	
101-300	420	420	125	125	170	170	
501-1500	1850	1850	-	-	1200	1200	
более 1500	10100	10000	5100	5100	3500	3500	

Таблица 1.4

Сведения о препятствиях, м

№ п. п.	перехода	километр трассы	Препятствия	Ширина зеркала воды				Глубина	Длина	Описание	Примечание
				в метрах	в погонных	до	в	меньше	перехода	перехода	
1	20-и		река Янгельна	8,0	140	0,70	140				
2	30-и		рычей без названия	1,0	5,0	0,32	60				

① Предварительная информация, полученная в результате рекогносцировочных исследований; на основании этой информации наме-

чаются приемлемые варианты трасс проектируемого трубопровода и составляется иногда технико-экономический доклад (ТЭД);

2. Промежуточная информация по намеченным вариантам на стадии проектного задания, получаемая в результате предварительных изысканий; она используется для проведения технико-экономического анализа конкурирующих вариантов и выбора из них основного; рекогносцировочные изыскания не всегда являются самостоятельной стадией, они могут составлять часть предварительных изысканий;

3. Полная информация по основному варианту, которая используется при составлении рабочих чертежей и окончательном закреплении трассы на местности.

1. 4. Методы проектирования трасс магистральных трубопроводов

В практике проектирования трасс трубопроводов в настоящее время применяются камеральный и полевой методы, а также метод, связанный с использованием материалов аэрофотосъемки. Общий недостаток этих методов в том, что в их основе лежит не столько количественная, сколько качественная оценка факторов, которые, по мнению отдельных проектировщиков или проектной организации, являются определяющими для данного варианта трассы. Академик А.В. Горинов (1948) отметил, что "обычно принято считать трассирование своего рода искусством". Однако в настоящее время, когда темпы строительства магистральных трубопроводов велики, а средняя протяженность трасс увеличилась в несколько раз, проектировщикам необходимо перерабатывать и оценивать огромный объем информации о трассе в очень короткие сроки. Использование традиционных методов проектирования в этих условиях тормозит темпы работ. Необходимы принципиально новые методы трассирования, облегчающие анализ всех совокупностей фактов, влияющих на положение трассы, и оставляющие человеку лишь принятие окончательных решений. Прежде чем перейти к новым методам проектирования трасс, кратко охарактеризуем существующие [2].

Камеральное трассирование заключается в выборе трассы без выезда на местность по картографическим материалам (топографические, геологические, климатические и гидро-

логические карты), на основании которых определяются основные характеристики проектируемых трасс.

При камеральном трассировании трубопроводов используются карты мелких (1:1000000 - 1:200000), средних (1:100000 - 1:50000) и крупных (1:25000 - 1:5000) масштабов. Камеральное трассирование можно разделить на два этапа.

1. Первый этап - рассмотрение конкурирующих вариантов трассы с использованием карт мелкого масштаба.

Промежуточными точками могут быть крупные населенные пункты; перевалочные и распределительные нефтебазы, которые предусматриваются заданием на проектирование или возникают как целесообразные в процессе проектирования; переходы крупных судоходных рек, где по техническим условиям или по согласованию с заинтересованными организациями намечается определенный створ для их пересечения; границы площадей горных разработок, перевалов, заповедников и некоторых объектов.

Рациональная укладка трассы с наименьшим её удлинением относительно геодезической линии - основная задача трассирования. Для облегчения ориентировки при трассировании намечают варианты, соединяя прямыми линиями точки, через которые необходимо или целесообразно проложить трассу трубопровода.

Воздушная трасса, как правило, отличается от фактической, так как последняя удлиняется из-за обхода различных препятствий. Сравнение длины воздушной линии и протяженности фактически выбранной трассы дает одну из основных характеристик - коэффициент развития линии.

2. Второй этап камерального трассирования - последовательный перенос намеченных воздушных линий вариантов трассы на карты средних и крупных масштабов. На этих картах намечают точки обхода препятствий, точки пересечения средних и крупных водотоков, оврагов, балок. Подробно изучают дорожную сеть и намечают пути развозки труб и материалов по трассе от пунктов выгрузки (железных дорог и пристаней), намечают подварианты для дальнейшей проработки, разбивают километраж по линиям выявленных вариантов трассы, составляют сокращенные продольные профили трассы и наносят на них инженерно-геологические условия по геологическим картам и другим источникам.

На основе полученных в результате камерального трассирова-

ния данных оценивают варианты трассы для выделения оптимального или конкурирующих, по которым в дальнейшем будут выполнять трассирование непосредственно на местности [2, 14].

Полевое проектирование — комплексный метод, совмещающий технические изыскания с непосредственным проектированием и закреплением линии трубопровода на местности. Сущность данного метода заключается в том, что окончательная укладка трассы на местности и разработка рабочих чертежей линейной части трубопровода ведутся непосредственно в районе строительства с некоторым опережением производства строительно-монтажных работ. Проектирование выполняют комплексные бригады (группы) проектировщиков и изыскателей с привлечением строителей и эксплуатационников.

В технической документации отражаются наиболее совершенные методы производства работ и организация труда. Метод полевого проектирования способствует широкому применению на строительстве магистральных трубопроводов типовых решений и унифицированных строительных конструкций, узлов и деталей. Кроме того, он позволяет наиболее полно и точно учесть все особенности рельефа местности и геологии трассы.

Метод полевого проектирования может быть применен при составлении проектного задания и разработке рабочих чертежей.

На стадии проектного задания полевое проектирование дает возможность оценить условия строительства для намеченных вариантов трассы и то влияние, какое они оказывают на выполнение строительно-монтажных работ. Выбор оптимальной трассы и разработка проектного задания производится в данном случае на основе конкретных материалов, получаемых проектировщиками в результате осмотра районов прохождения трассы по каждому из вариантов.

На стадии разработки рабочих чертежей метод полевого проектирования используется для уточнения принятых на первой стадии проектных решений.

Применительно к выбору трасс магистральных трубопроводов наиболее целесообразным является соединение методов камерального и полевого проектирования. К камеральной проработке вариантов трассы и генерального направления трубопровода по картографическому материалу привлекаются проектировщики разных специальностей. После утверждения выбранных вариантов

трассы группа проектировщиков, принимавших участие в камеральном трассировании, вместе с изыскателями выезжает на местность, где непосредственно участвует в выборе переходов через искусственные и естественные препятствия, обследовании вариантов трассы на отдельных участках и вместе с изыскателями принимает окончательное решение о наиболее рациональной прокладке трассы.

Специалисты-проектировщики вместе с изыскателями собирают исходные данные для составления проекта организации работ, источников электро-и водоснабжения. Они совместно обследуют варианты трассы, намечая места необходимых ограничений, определяя способ прокладки, типы переходов. Одновременно уточняют техническое задание для изыскательской партии.

Аэрофотосъемка при трассировании магистральных трубопроводов нашла широкое применение в связи с совершенствованием фотографирования местности и дешифрирования снимков. Метод аэрофотосъемки совершенно необходим, когда трасса проектируется в быстрозастраиваемых обжитых районах и крупномасштабные карты не отражают действительной застройки местности или когда трасса проектируется в отдаленных необитаемых или горных районах, для которых также нет достаточно надежной картографической информации.

Аэрофотосъемку применяют на всех стадиях проектирования. После камеральной обработки вариантов трассы производят их аэровизуальное рекогносцировочное обследование с целью решения таких важных вопросов, как общая оценка каждого из вариантов и мест переходов через водотоки, влияющие на выбор направления трассы, выявление эффектов, влияющих на положение трассы и условия производства строительно-монтажных работ, определение участков трассы, требующих детального аэрофотосъемочного обоснования.

Трассирование по аэрофотосъемкам можно вести как полевым, так и камеральным методом.

Проектные организации накопили большой опыт трассирования магистральных трубопроводов обычным камеральным методом, при котором проектирование трассы и её изыскание ведутся раздельно [2]. Метод камерального трассирования является основным, все другие методы можно рассматривать как дополняющие и улучшающие его. В настоящее время этот метод остается главным на ста-

Инв. №

Библиотека УНИ

для выбора оптимального направления трассы, так как позволяет проводить технико-экономические изыскания намеченных вариантов трассы.

Широкое применение аэрофотосъемки в процессе полевого проектирования способствует более быстрому и правильному выбору направления трассы в пределах зоны, определенной при камеральном проектировании.

Существенным недостатком перечисленных методов является невозможность формализовать задачу выбора трассы так, чтобы использовать различные математические модели. Трудность формализации задачи трассирования вызвана тем, что исходная информация о местности задается часто качественными, а не количественными характеристиками. Поэтому очень важно уметь задавать рельеф местности применительно к трассированию линейно-протяженных объектов количественно. Это можно сделать, используя статистические, аналитические методы, метод аппроксимации и цифровую модель.

Статистические методы позволяют на основе осредненных данных о рельефе найти эмпирические коэффициенты развития линии и объемов земляных работ. Их можно применять для грубых, приближенных расчетов на первой стадии проектирования.

Методы аналитический и аппроксимации основаны на попытках отобразить рельеф местности в виде каких-либо уравнений. Большого распространения эти методы не нашли ввиду их громоздкости и слабой адекватности между моделью и действительностью.

Метод цифровой модели местности заключается в том, что каждой точке поверхности дается цифровое выражение. Этот метод проще других и наиболее точно описывает рельеф местности.

Одно из главных направлений научно-технического прогресса в проектировании линейно-протяженных объектов заключается в разработке алгоритмов для проведения расчетов на электронных цифровых вычислительных машинах (ЭЦВМ).

Создание метода последовательного анализа вариантов при решении задач трассирования железных и автомобильных дорог дало возможность решить задачи проектирования плана и профиля трассы, подсчитать объемы земляных работ, разместить малые искусственные препятствия и т.д. [2]. В качестве основной математической модели использовалась теория оптимальных процессов, разработанная под руководством академика А.С.Понтрягина, и метод дина-

мического программирования Р.Беллмана.

Магистральные трубопроводы по сравнению с железнодорожными линиями имеют ряд специфических особенностей: линейная часть их, за исключением отдельных переходов через препятствия, прокладывается подземно, то есть трубопровод в большинстве случаев повторяет рельеф; определяющим фактором при трассировании трубопровода является его удлинение по сравнению с воздушной прямой; объем земляных работ определяется в основном диаметром трубопровода; первостепенную роль при трассировании трубопровода приобретают число и вид естественных и искусственных препятствий. Поэтому методы количественного задания рельефа местности и трассирования с помощью ЭЦВМ, применяемые для железнодорожного проектирования, не могут быть использованы в том же виде при проектировании трасс магистральных трубопроводов.

1.5. Выбор оптимальных трасс магистральных трубопроводов

Магистральные трубопроводы длиной более 1000 километров сооружаются в течение одного-двух лет. Естественно, что организационная подготовка к строительству должна выполняться в еще более сжатые сроки. В связи с этим возникла проблема чрезвычайно быстрого выбора оптимального рабочего варианта проектируемого трубопровода, обеспечивающего минимум капиталовложений, наибольшую простоту производства строительно-монтажных работ и наилучшие условия эксплуатации трубопровода. Упрощение производства строительно-монтажных работ важно в том отношении, что позволяет осуществить строительство с наименьшими трудовыми затратами и в кратчайшие сроки. Существующие в настоящее время методы выбора как генерального направления оси трассы проектируемого трубопровода, так и детального развития линии трубопровода, даже с использованием полевого проектирования и аэрофотосъемки, не позволяют однозначно и, главное, быстро выбрать оптимальный вариант, поскольку погрешности в выборе направления оси трассы приводят, как правило, к увеличению объема работ и времени строительства, то решение вопроса о проектировании трасс трубопроводов пред-

становит собой задачу огромной важности.

Адекватное решение этой проблемы невозможно без соответствующих теоретических исследований, математического анализа и применения современных средств вычислительной техники. Использование ЭВМ для нахождения оптимальных схем перекачки продукта и выбора основных параметров трубопровода уже нашло широкое применение в отечественной практике [2, 4].

Одной из наиболее сложных проблем, которую приходится решать при проектировании трубопровода, является выбор трассы.

От того, насколько удачно выбрана трасса, зависит не только стоимость будущего трубопровода, но и удобство его строительства, эксплуатации, надежность работы и тому подобное.

Вне сравнительно недавно общепринятый метод выбора трассы основывался на рассмотрении двух-трех, максимум четырех интуитивно намеченных вариантов, лучший из которых и считался оптимальным. Желю, конечно, проработать и большее количество вариантов, используя, например, ЭВМ.

Оптимальной считают такую трассу, сооружения трубопровода вдоль которой дает минимум или максимум полной величины оценочного критерия - в зависимости от его смыслового значения. Этот критерий называется критерием оптимальности [2, 4].

Все критерии можно разделить на две группы: группу критериев, обладающих свойством аддитивности (аддитивность - свойство величины, заключающееся в том, что полное её значение равно сумме значений её частей при любом их числе), и группу критериев, не обладающих этим свойством.

Охарактеризуем основные критерии, используемые при выборе оптимальных трасс трубопроводов.

Общепринятым критерием, универсально учитывающим большинство требований, при которых достигается основной экономический эффект, является приведенные затраты.

Кроме приведенных затрат, самостоятельными критериями могут быть заданное время, прочностные характеристики трубопровода, его эксплуатационная надежность (функционирование). Длина трубопровода может применяться в качестве аддитивного критерия, поскольку общая длина трубопровода равна сумме длин отдельных его участков при любом их числе.

Поиск оптимальной трассы осуществляется в соответствии с

алгоритмом Ли [2, 4], основная идея которого заключается в следующем. Процесс поиска - многошаговый. Задается область поиска, на которую наносится сетка между конечными точками будущей трассы для снятия исходной информации о местности. Одним из важных вопросов в подготовке к снятию исходной информации является составление эталона категорий местности (рис. 1.1) [2]. Составляется эталон на топографических картах с таким расчетом, чтобы на нем была изображена местность всех категорий, встречающихся в пределах области снятия исходного материала. Все многообразие естественных особенностей местности вдоль трассы предлагается классифицировать на равнины, пустыни, болота, многолетнемерзлые грунты, естественные водные преграды, горы. На основе такой классификации составлена таблица категорий местности (приложение 1). Далее по дугам сеток приступают к снятию исходного материала. Для этого все дуги сетки нумеруют строго в соответствии с разработанной методикой. Цифровые данные о местности записывают в бланки (табл. 1.5). Рассматриваемую дугу в соответствии с условиями местности разбивают на участки различных категорий. Определяют длину категории в миллиметрах в принятом масштабе, а также номер категории и затем то и другое записывают в графу "число" (табл. 1.5).

Одновременно со снятием данных с карт разрабатываются стоимостные показатели, представляющие капиталовложения в тысячах рублей на 1 километр проектируемого трубопровода для всех категорий местности, разработанных согласно применяемым прейскурантам цен на сооружение трубопроводов. Таким образом, номер категории будет характеризовать и вид местности, и стоимость сооружения трубопровода. Эти материалы используются для выбора оптимальных трасс с помощью ЭВМ в соответствии с разработанной программой [2].

Далее рассмотрим процесс упорядоченного поиска оптимальной трассы. Поиск может осуществляться между двумя (начальной и конечной) точками, а также между начальной и несколькими промежуточными или конечной точками, в которые должен транспортироваться продукт.

Пусть заданы начальный А и конечный В пункты трубопровода в пределах какой-то области поиска (рис. 1.2). Нанесем на эту область сетку. При решении задачи могут быть использованы

Таблица 1.5

Для записи исходной информации

Номер дуги	Номер ячейки	Знак числа	Ч и с л о	
			длина дуги	номер категории
1	01100	-	2,0	24
2	1	-	1,0	22
	2	+	1,0	05
3	3	-	2,0	05
4	4	-	2,0	22
5	5	-	0,5	07
	6	+	1,0	22
	7	+	0,5	07
6	01100	-	0,5	05
	1	+	0,2	06
	2	+	1,3	05
7	3	-	0,5	07
	4	+	0,5	22
	5	+	1,0	07
8	6	-	2,0	22
9	7	-	0,7	05
	01120	+	0,3	07
	1	+	1,0	05
10	2	-	0,6	05
	3	+	0,4	06
	4	+	1,0	05
11	5	-	2,0	22
12	6	-	2,0	05
13	7	-	1,0	22
	01130	+	1,0	07
14	1	-	1,5	07
	2	+	0,0	29
	3	+	0,4	22
15	4	-	2,0	07

Примечание: Если номер категории меньше 10, то в бланке на место старшего разряда ставится 0.

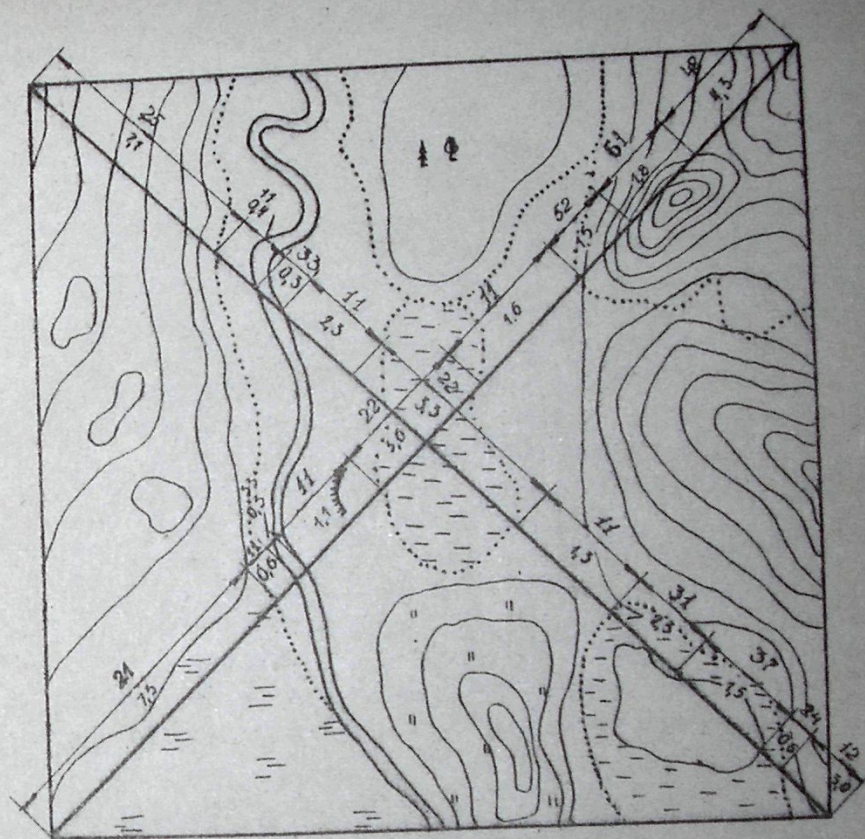


Рис.1.1. Примерный эталон местности

Верхние цифры означают номер категории участка (см. приложение 1), а нижние - длину участка данной категории

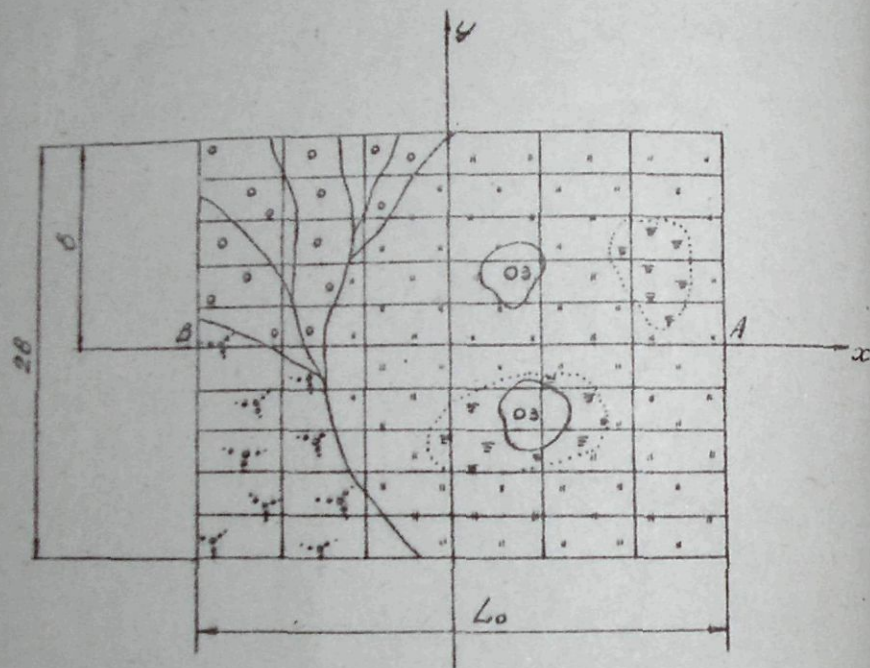


Рис.1.2. Область оптимального развития линии трубопровода и сетка, нанесенная в ней

L_0 - геодезическая линия между A и B;
 $2b$ - ширина области развития линии

различные по конфигурации сетки. Наиболее простой с точки зрения подготовки исходных данных и решения задачи является квадратная или прямоугольная сетка с диагоналями. Но она может быть и произвольной формы (рис. 1.3, 1.4). Перед построением сетки необходимо определить размеры и форму сетки с таким расчетом, чтобы приведенные затраты и длина трубопровода по оптимальной трассе, выбранного по дугам принимаемой сетки, были минимальными [3, 4].

Отрезок линии, соединяющей два узла сетки, называют дугой, а узлом называют точку, в которой сходятся не менее трех дуг. Каждую дугу сетки можно оценить каким-либо критерием. Твердо фиксированная таким образом сетка с заранее оцененными дугами позволяет упорядочить поиск оптимальной трассы, который является многошаговым процессом. Эта задача в сеточной постановке относится к задачам динамического программирования, а оптимальная трасса определяется в соответствии с принципом оптимальности Беллмана, то есть каким бы способом мы ни достигали любого узла на сетке, дальнейшее движение от него до конечного пункта должно проводиться таким образом, чтобы сумма приведенных затрат для составления пути была минимальной. В свою очередь движение от начальной точки до любой промежуточной должно проводиться так, чтобы общие затраты были минимальными.

Этот принцип для рассматриваемой задачи может быть отображен следующим образом:

$$W_{i,j} = \min[W_{k,l} + W_{k,l,i,j}], \quad (1.1.)$$

где $W_{i,j}$ - суммарная величина критерия для оптимальной траектории (трассы); $W_{k,l}$ - суммарная величина критерия для оптимальной трассы на участке от начальной точки A до узла k, l ; $W_{k,l,i,j}$ - суммарная величина критерия вдоль дуги, соединяющей соседние точки i, j и k, l .

Смысл уравнения (1.1) состоит в том, что для каждого узла сетки находится минимальное значение суммарной величины критерия и соответственно оптимальная траектория до этого узла от начальной точки A. Вследствие того, что движение осуществляется от начальной точки по минимальному значению суммируемого критерия шаг за шагом, переходя к рассмотрению все новых и новых точек, в итоге конечная точка B попадет в процесс поиска

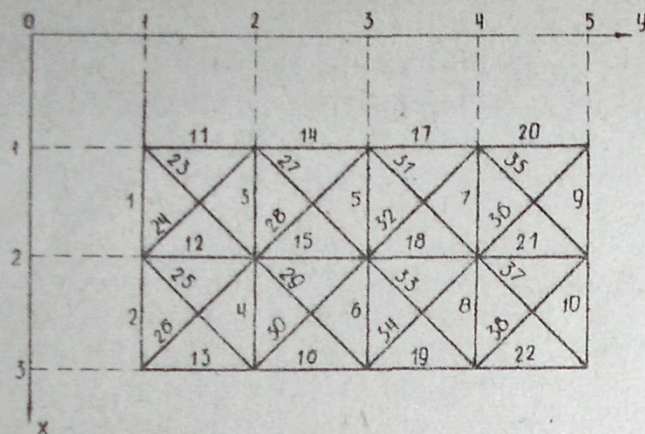


Рис. 1.3. Квадратная сетка с диагоналями

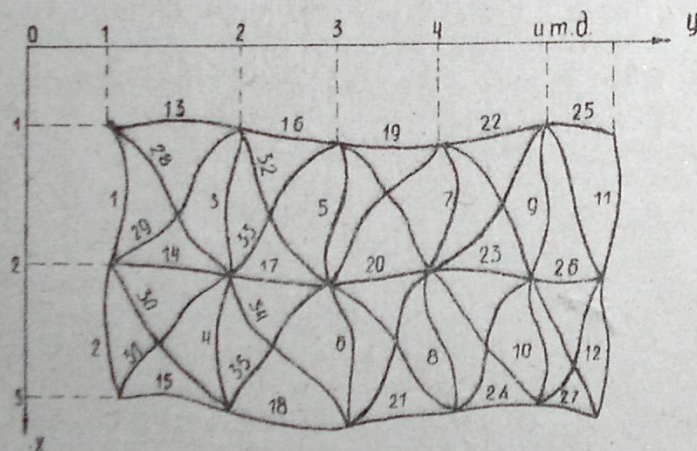


Рис. 1.4. Сетка произвольной формы

оптимальной траектории, и мы определим минимальное значение полной величины критерия от начальной до конечной точки.

В итоге такой работы **вылится** вся оптимальная трасса трубопровода. Реализация описанного метода поиска оптимальной трассы по критерию приведенных затрат осуществляется с помощью программы, составленной для ЭЦВМ "Минск-22". Подробное описание алгоритма и программы приведено в учебниках [2, 4]. При реализации математических методов поиска оптимальных трасс трубопроводов исходная информация, снятая с топографических карт местности, преобразуется в цифровую модель местности (ЦММ). Опыт применения математических методов и ЭВМ для выбора оптимальных трасс трубопроводов показал, что наиболее ответственным, трудоемким и неавтоматизированным этапом является снятие исходной информации.

Повышение качества проектных решений невозможно без повышения качества задания исходной информации - подробности её задания в соответствии с развитием вычислительной техники в проектных организациях. Какую бы задачу проектирования не решали, каждая из них относится к комплексу задач проектирования одного конкретного трубопровода, поэтому, естественно, что группа информации, задаваемая в качестве исходной перед решением некоторой задачи может быть использована или преобразована при решении некоторой другой задачи. Поэтому существенно важное практическое значение имеет применение автоматизированных методов задания исходной информации о местности.

Современный этап развития сканирующей техники в нашей стране и за рубежом позволяет рассмотреть и исследовать возможность автоматизации процесса снятия исходной информации о местности с аэрофотоснимков (цветных) и создания цифровой модели местности (ЦММ).

Существуют и описаны многочисленные сканирующие автоматы, используемые для измерения, кодирования и преобразования информации физических величин (не только цвета) в отдельных зонах плоскостных объектов, в том числе аэрофотоснимков. При применении таких автоматов при численной оптимизации получаем возможность переходить от поиска оптимальной трассы трубопровода по сетке к поиску трассы произвольным шагом [3]. В последние годы, как в СССР, так и за рубежом (США, Канада) особенно

активно ведутся работы в данном направлении. Перед проектировщиками и строителями трасс магистральных трубопроводов стоит задача эффективного использования материальных и денежных ресурсов за счет повышения качества проектирования.

Для решения этой задачи большое значение имеет разработка автоматизированной системы проектирования (САПР) трасс магистральных трубопроводов на основе методов математического программирования с использованием современных вычислительных средств. В связи с этим ведется разработка алгоритмов программного обеспечения системы автоматизированного проектирования линейной части магистральных трубопроводов.

Разрабатываются программные компоненты системы автоматизированного получения продольного профиля магистрального нефтепровода на базе функционирующих ЭВМ "Минск-32" и графопостроителя "Бенсон-232" планшетного типа.

Продолжается разработка подпрограмм расчета и вывода на графопостроитель "Бенсон-232" элементов рабочего чертежа линейной части магистрального нефтепровода в рамках автоматизированного проектирования системы магистральных трубопроводов.

Методы автоматизированного проектирования и оптимизации трасс магистральных трубопроводов постоянно совершенствуются, с ними можно детально ознакомиться в работах профессоров Н.П. Бородавкина, В.Л.Верезина, Н.А.Бабина, С.Ю.Рудермана, Б.В. Самойлова.

2. СОСТАВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

При разработке схемы проектирования трасс трубопроводов широко применяют материалы инженерно-геодезических изысканий прошлых лет. Лишь в отдельных случаях, когда топографо-геодезические материалы устарели, появляется необходимость в создании новых материалов. Следовательно, до производства полевых инженерно-геодезических работ для данного объекта должны быть собраны сведения о всех ранее произведенных в данном районе топографо-геодезических и других изысканиях. Эти документы могут быть использованы и для последующих стадий проектирования.

По сведениям о ранее выполненных работах составляется пояснительная записка, в которой излагаются главные вопросы: основные геодезические работы (триангуляция, полигонометрия, аналитические сети, нивелирные ходы); топографические съемки разных масштабов; русловые съемки; аэрофотосъемочные работы и другие. Дается также заключение о возможности использования материалов на той или иной стадии проектирования и о необходимости производства полевых работ.

Геодезические работы выполняются для составления топографических планов и продольных профилей как самих трасс, так и мест пересечений через различные препятствия.

Геодезические работы при изысканиях, строительстве и эксплуатации трасс трубопроводов выполняются обычно в следующей последовательности: 1) создание и закрепление на районе прокладки трубопровода плановой и высотной опорной сети; 2) комплекс работ для составления продольного профиля; 3) трассирование линейных инженерных сооружений; 4) топографические съемки; 5) разбивочные работы; 6) геодезические работы при строительстве головных и промежуточных станций; 7) геодезические работы при строительстве трасс трубопроводов (земляные работы); 8) производство исполнительной съемки; 9) определение оседаний и деформаций построенных сооружений (последний этап).

Создаваемые в стадии проектирования трасс трубопроводов плановое и высотное геодезическое обоснование широко используется для производства крупномасштабных топографических съёмок, производства нивелирования для составления продольных профилей трасс трубопроводов, рек и других линейных сооружений, переноса на местность проекта осей трассы и сооружений, при строительстве и эксплуатации, наблюдения за осадками и смещениями трубопроводов и других сооружений.

На основе топографических планов, продольных и поперечных профилей составляют генеральные планы постоянных и временных сооружений, проекты вертикальной планировки, подсчитывают объёмы строительных и земляных работ.

2.1. Виды планового геодезического обоснования

Обеспечение плановой геодезической основой комплекса геодезических работ зависит от длины трассы трубопровода, наличия пунктов государственной сети, целей исследований, физико-географических условий района изысканий и от ширины водных и других препятствий. Плановая геодезическая основа приобретает важное значение на участках перехода через водные препятствия, где приходится периодически производить гидрографическую съёмку. Гидрографическая съёмка включает комплекс наблюдений на водостоках и водоемах за уровнями рек и озёр, скоростями и направлениями течений, глубинами вод, уклонами, расходами и так далее [7].

В качестве планового геодезического обоснования в этих случаях чаще всего используют аналитические сети, теодолитные ходы и геодезические засечки. В зависимости от условий речной поймы, в качестве планового обоснования могут быть применены теодолитно-дальномерные ходы с измерением сторон оптическими дальномерами или радиодальномерами. При ширине реки более 300 метров при открытой пойме могут быть применены и геодезические засечки по методу профессора А.И.Дурнева [9].

При расчете точности планового обоснования следует иметь в виду, что точность гидрографических съёмок ниже точности

обычных топографических съёмок. Например, гидрографическая съёмка в масштабе 1:2000 по своей точности примерно соответствует топографической съёмке масштаба 1:5000. Вследствие этого для расчета точности и составления проекта съёмочного планового обоснования можно принять следующие численные значения средних квадратических ошибок в координатах пунктов [9]:

		на плане	на местности	(2.1)
для масштаба плана	1:2000	0,8 мм	1,6 м	
- " -	1:5000	0,6 мм	3,0 м	
- " -	1:10000	0,5 мм	5,0 м	

Из опыта работ установлено, что если плановое положение промерной точки независимо от масштаба будет определено со средней квадратической ошибкой $\pm 1,5$ мм на плане промерных работ, то такая точность обеспечивает составление проектов землечерпательных работ, анализ русловых переформирований, направление русел и так далее [9]. В последнее время для русловых съёмок широко применяют аэрофотосъёмку. В этом случае геодезическая подготовка состоит в создании сети опознаков и привязки аэроснимков.

2.2. Аналитическая сеть

В практике изысканий аналитическую сеть применяют при ширине реки не менее 300 метров и преимущественно на участках перекатов. Поэтому стороны треугольников сети будут не менее 300 метров (до 2 километров).

Аналитические сети создаются методом триангуляции или различных засечек.

Аналитические сети обычно имеют вид цепей или систем треугольников, построенных между двумя сторонами триангуляции 1, 2, 3, 4 класса или полигонометрии (рис. 2.1).

Допускаются также свободные аналитические сети, опирающиеся на две базисные стороны, азимуты которых определены астрономическим методом или при помощи гиротеодолита.

Для нахождения координат точек 1, 2, 3 измеряют углы β_1 , β_2 , β_3 во всех треугольниках способом круговых привязок. Стороны находят косвенным путем применением теоремы си-

нусов и косинусов через известные стороны a и b (рис. 2.1).

В отдельных случаях, когда работы ведутся в пересеченной местности, где линейные измерения затруднены, геодезическое обоснование создается способом геодезических засечек [21, 22]:

На рис. 2.1 изображен способ засечек, когда положение точек 4 и 5 определяется пересечением направлений с пунктов геодезической сети различных классов.

Для расчета точности аналитической сети полагается, что углы в треугольниках находятся в пределах 30-120 и измеряются со средней квадратической погрешностью $m_\beta = \pm 8''$. Расчет ожидаемых погрешностей производится для продольного и поперечного сдвига цепочки треугольников [12, 14]:

Предполагая, что погрешности исходных данных не учитываются, напишем для поперечного сдвига

$$m_q = L \frac{m_\beta}{\rho''} \sqrt{\frac{n+2,5}{6}}; \quad (2.2)$$

для продольного сдвига

$$m_l = L \frac{m_\beta}{\rho''} \sqrt{\frac{4n+3}{9}}, \quad (2.3)$$

где L - длина ряда, м; n - число сторон, участвующих в передаче координат от начальной точки до конечной по кратчайшему ходу; m_β - средняя квадратическая погрешность измерения угла и $\rho'' = 206265''$.

Погрешность в координатах конечной точки

$$m_k = \sqrt{m_q^2 + m_l^2}. \quad (2.4)$$

На планах русловой съёмки значение средней квадратической погрешности будет для масштаба 1:2000 - $m_k = \pm 0,34$ м, для масштаба 1:5000 - $m_k = \pm 0,13$ м, для масштаба 1:10 000 - $m_k = \pm 0,07$ м.

Сравнение полученных результатов с выражением (2.1) показывает, что проложением ряда аналитической сети с длинами сторон 500 метров и измерением углов со средней квадратической погрешностью $m_\beta = \pm 8''$ вполне обеспечивается необходимая точность [12, 14].

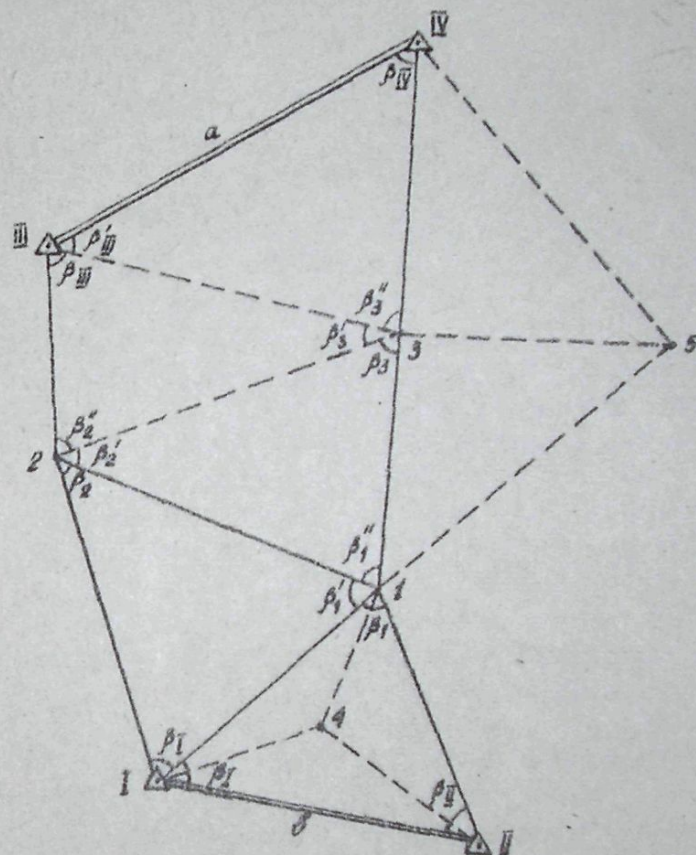


Рис. 2.1. Цепь треугольников.

I, II, III, IV - пункты триангуляции III, IV классов;
1, 2, 3 - пункты аналитической сети 1, 2 разряда.

2.3. Теодолитные ходы

Для создания плановой геодезической основы прокладывают замкнутые теодолитные ходы по двум берегам русла реки, длина которых зависит от длины перекатов рек. Согласно действующей практике русловых съёмок длина сторон теодолитных ходов может быть от 200 до 500 метров. Ожидаемая средняя квадратическая погрешность в наиболее слабом месте замкнутого теодолитного хода вытянутой формы может быть определена по формуле

$$M^2 = (\lambda^2 L^2 + M^2 L^2) + \frac{m_{\beta}^2 L^2}{P^2} \frac{n+3}{12} = m_t^2 + m_u^2, \quad (2.5)$$

где M_t и M_u — соответственно продольный и поперечный сдвиги конечной точки; n — число сторон хода; L — длина теодолитного хода; m_{β} — средняя квадратическая погрешность измерения угла; M и λ — коэффициенты соответственно случайного и систематического влияния на единицу длины при измерении сторон хода лентами.

Значения M и λ в зависимости от условий местности:

для благоприятной	0,004	0,00020
для средней	0,005	0,00025
для неблагоприятной	0,008	0,00050

Относительные средние квадратические погрешности измерения длин сторон теодолитного хода следующие:

для благоприятной местности	1:3000
для средней местности	1:2000
для неблагоприятной	1:1500

Сравнения результатов измерений показало, что точность аналитической сети превосходит точность результатов, полученных с помощью теодолитных ходов.

При создании плановой основы встречаются большие трудности при проложении обычных теодолитных ходов, так как кустарник и лес обычно покрывают пойму реки. Поэтому следует широко применять дальномер ДНТ-2 или другие дальномеры, дающие возможность направлять стороны теодолитного хода наискось через реку, как показано на рис. 2.2. От полученных таким образом вершин углов теодолитного хода, вазсчками определяют плановое положение других пунктов сгущения геодезической основы [7,14].

Высотной основой съёмок в районе перехода являются реперы

государственной высотной нивелирной сети или реперы, устанавливаемые, как правило, вдоль оси трассы трубопровода через 2-3 километра и привязанные техническим нивелированием к государственной высотной основе [3]. Высотное обоснование создается как для обеспечения топографических съёмок, так и для производства различного вида изысканий и проектирования инженерных сооружений. Для сгущения пунктов высотного государственного обоснования прокладывают нивелирные ходы III и IV классов, с помощью которых от реперов государственной высотной основы передают отметки на реперы, заложенные вблизи русла реки. Такие реперы используют для нивелирования уровней воды и приведения их к одному моменту времени, для наблюдения на водомерных постах, привязке гидрометрических створов и так далее. Наиболее простая схема для передачи отметок от реперов государственной высотной сети приведена на рис. 2.3, где А и В — реперы государственной высотной сети, L — расстояние между ними. Для передачи отметок к руслу реки прокладывают рабочие нивелирные ходы l_1 и l_2 , заканчивающиеся рабочими реперами а и б, с которых нивелируют уровни воды в точках однодневной связи (ТОС) [2].

2.4. Геодезическая основа для линейной части трубопровода

Так как съёмка производится на узкой полосе большой протяжённости, то наиболее целесообразным методом создания плановой основы являются светодальномерная и радиодальномерная полигонометрия I и II разрядов, а также геодезические засечки (см. рис. 2.1) и цепочки триангуляции. Сгущение пунктов геодезической основы проводят при помощи точных оптических дальномеров типа "Редта" или короткобазисной полигонометрии.

Высотную основу развивают, прокладывая двойные нивелирные ходы II и III классов. Сгущение высотной опорной сети выполняют нивелированием IV класса. Нивелирные ходы закрепляются грунтовыми реперами, установленными через каждые 2 - 3 километра (до 5 километров).

При съёмке узкой полосы вдоль трассы (по 150-200 метров по обе стороны от оси) планово-высотной опорой служат точки трас-

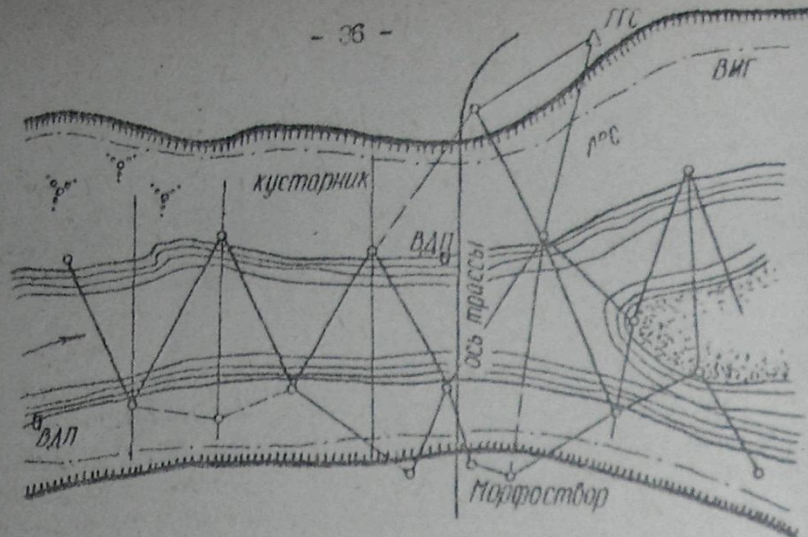


Рис.2.2. Плановая основа съёмки реки:

- измер. ДНТ-2;
- - - - - засечки;
- и опоры

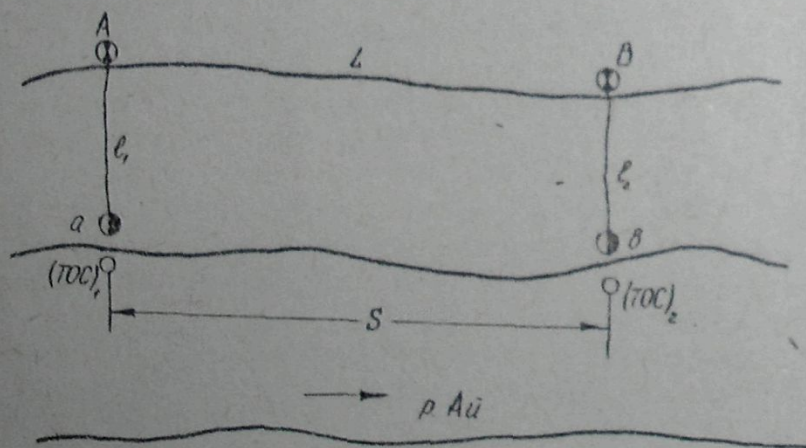


Рис.2.3. Схема ходов при нивелировании уровней воды

ств. Если ширина участка вдоль оси трассы более 500 метров, необходимо развить опорную сеть в виде замкнутых теодолитно-нивелирных полигонов, ходов короткобазисной полигонометрии в закрытых и полужакрытых местах и сетей микротриангуляции или геодезических засечек в открытой местности.

Полигонометрические сети состоят из отдельных ходов. Такие сети прокладывают в равнинной залесенной местности. В полигонометрических ходах 1, II разрядов углы измеряют оптическими теодолитами средней точности двумя приемами с применением теодолитов Т-5, Т-2, Theo -010 и так далее. Предельную угловую навязку полигонометрического хода вычисляют по формуле

$$\text{пред. } \{ \beta = 2m_p \sqrt{n}, \quad (2.5)$$

где n — число углов хода; m_p — допустимая средняя квадратическая ошибка измерения угла в соответствующем разряде полигонометрии.

$m_p = \pm 5''$ для 1 разряда полигонометрии,

$m_p = \pm 10''$ для 2 разряда полигонометрии.

Полигонометрические ходы прокладываются между пунктами государственной опорной сети вдоль оси трассы трубопровода (рис. 2.4).

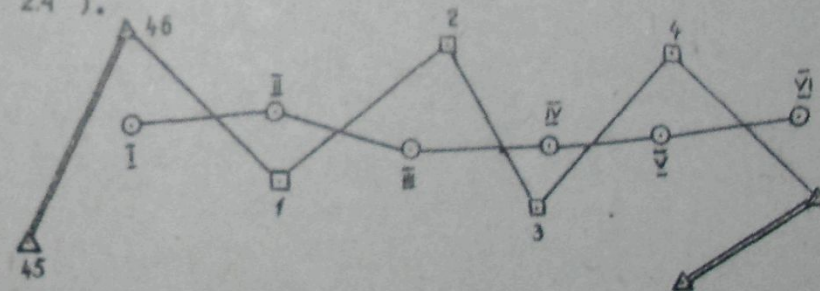


Рис. 2.4. Полигонометрические ходы:

- △ — пункты триангуляции;
- — пункты полигонометрического хода (от точки 1 до точки 4);
- — ось и углы поворота трассы трубопровода (от точки 1 до точки У1)

В светодальномерной или радиодальномерной полигонометрии

длины сторон полигонометрии измеряют свето-или радиодальномерами.

Дальномерами называют приборы, позволяющие определять расстояния между точками местности без непосредственного их измерения.

Все дальномеры, применяемые в геодезии, делятся на оптические, электрооптические (светодальномеры) и радиодальномеры. Все оптические дальномеры, в отличие от свето-и радиодальномеров, основаны на решении прямоугольного или равнобедренного треугольника по известному углу и противолежащей ему стороне.

Оптические дальномеры разделяются на дальномеры с постоянным углом, переменным базисом и постоянным базисом, но переменным углом. При измерении этими дальномерами применяются дальномерные рейки, разделенные на сантиметры или имеющие постоянную длину. Дальномерная рейка служит базисом для определения длины линии. У оптических дальномеров с переменным углом в объективе расположены оптические клинья, которые раздвигают изображения, затем их совмещают и определяют угол β (рис. 2.5). Для измерения применяют горизонтальные или вертикальные рейки с постоянной длиной. Точность измерений линий при применении горизонтальной рейки $f_{\text{гор.}} = 1:5000 - 1:10000$, а вертикальной рейки $f_{\text{верт.}} = 1:2000$.

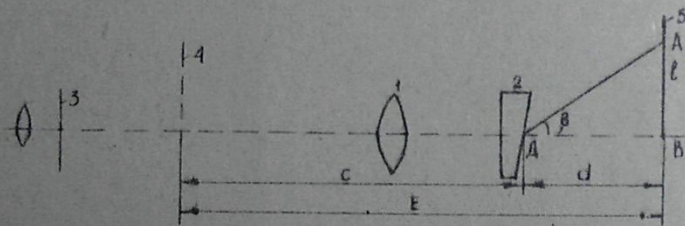


Рис. 2.5. Принцип определения расстояния дальномером с оптическим клином:

1 - объектив; 2 - оптический клин; 3 - сетка нитей; ℓ - отрезок рейки, который определяется отсчетом по шкале рейки; 4 - ось вращения прибора; 5 - рейка

Из треугольника ADB по известным ℓ и β можно определить

расстояние d от прибора до рейки, затем от оси вращения прибора до рейки по формуле

$$E = d + c = \ell \operatorname{ctg} \beta + c.$$

Таким дальномером удобно определить длину линий через различные препятствия.

Оптические дальномеры двойного изображения чаще всего изготавливаются в виде насадок, иногда входят в состав зрительной трубы теодолита или выпускаются в виде самостоятельных приборов. Более точные дальномеры двойного изображения применяются при горизонтальной рейке, менее точные - при вертикальной рейке.

В настоящее время широкое применение находят оптические дальномеры различных конструкций, например, ДН-04, ДД-3, ДД-5, ДНР-06.

Светодальномеры основаны на определении времени распространения световых волн (сигналов) в заданном направлении. Светодальномеры и радиодальномеры работают на одном принципе. Для этого необходимо знать скорость распространения электромагнитных волн в определенные промежутки времени. В настоящее время имеются приборы для достаточно точного измерения скорости. Поэтому основная задача сводится к определению времени распространения. Для измерения времени распространения энергии излучения электромагнитных колебаний по заданному направлению разработано много способов, которые по характеру излучения энергии могут быть разделены на две группы: импульсные и фазовые. Импульсные способы измерения расстояний предусматривают прерывистые излучения энергии, что позволяет непосредственно измерять время прохождения электромагнитных волн до отражателя и обратно.

2.5. Техническая схема импульсного дальномера

Передачик излучает сериями электромагнитные волны. На выходе приемника индикатор указывает промежутки времени между приходом к приемнику прямых импульсов от передатчика и отраженных от экрана, установленного в точке, до которой нужно

измерить расстояние. Зная скорость распространения прямых и отраженных световых волн c и время τ , длину линии S определяют по формуле

$$S = \frac{1}{2} c \tau.$$

Если требуется определить длину линии длиной 25 километров с относительной погрешностью $\frac{m_s}{S} = \frac{1}{400000}$, то при $c = 300000$ км/с погрешность измерения времени не должна быть более

$$m_t = \frac{2 \cdot 25}{400000 \cdot 300000} = \frac{5}{12} \cdot 10^{-9} \text{ с.}$$

В настоящее время нет приборов, с помощью которых можно было бы измерить время с такой точностью. Поэтому импульсные дальномеры не применяются при точных линейных измерениях.

Фазовый способ измерения расстояний использует явление интерференции (наложения) прямых и отраженных волн с косвенным измерением времени их распространения по разности фаз прямых и обратных волн.

Принцип работы светодальномерами

Светодальномер состоит из дальномера и приемопередатчика, установленного на одном конце измеряемой линии, и отражателя, помещенного на другом её конце (рис. 2.6).

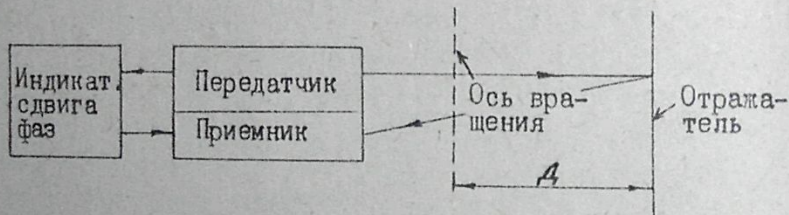


Рис. 2.6. Схема измерения расстояний светодальномером

Передатчик непрерывно излучает электромагнитные колебания частоты f в сторону отражателя, отраженные волны достигают приемника и передаются последними индикатору сдвига фаз через определенное время τ . После выхода из передатчика

одновременно часть энергии поступает от передатчика прямо на этот же индикатор (сдвиг фаз). В современных светодальномерах (для определения косвенным путем τ) используется преобразованный поляризованный свет. Для этого свет пропускают через двойную лучепреломляющую пластинку или через сильное электромагнитное поле. Поляризаторами света могут быть использованы кристалл исландского шпата и ячейка Керра. У поляризованного света можно измерить параметры оптического поля (амплитуду, частоту колебаний, сдвиг фаз, периоды колебаний и так далее).

Для определения времени распространения измеряют разности фаз параметра за время τ .

Разность фаз этих волн будет

$$\Delta \varphi = \varphi_{\text{изл.}} - \varphi_{\text{отр.}} = 2\pi f \tau.$$

где f — частота, π — период гармонических колебаний. Тогда

$$S = \frac{(\varphi_{\text{изл.}} - \varphi_{\text{отр.}}) c}{2\pi f}.$$

Разность фаз в общем случае будет состоять из целого числа периодов колебаний N и дробной части Δ периода.

Тогда

$$S = \frac{c}{2f} \cdot (N + \Delta).$$

Достоинством фазовых дальномеров является возможность измерения с большой точностью величины Δ , можно считать, что время τ измеряется с точностью примерно $1/1000\tau$, а $\tau = 1/10^7$ с, ошибка $m_\Delta = 1/10^{10}$ с.

За это время электромагнитные волны пройдут в воздухе путь в 3 сантиметра. Развитие в последние годы квантовой электроники привело к созданию новых источников света, например, лазерного луча (оптический квантовый генератор и усилитель).

Лазер обладает замечательным свойством — чрезвычайно узко направленный с концентрацией энергии в узком пучке.

Используя лазер, создали светодальномеры "Кварц" и СГ-3. В настоящее время созданы и другие свето- и радиодальномеры, например, СБ-6, СМ-02, СМ-2, РДТВ (радиодальномеры), которые успешно применяются в геодезических измерениях.

3. ОКОНЧАТЕЛЬНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

Окончательные изыскания, выполняемые на стадии рабочего проектирования, имеют целью уточнение, дополнение и детализацию материалов предварительных изысканий и ранее принятых проектных решений. Они выполняются комплексными изыскательскими партиями по утвержденному в проектом задании направлению трассы, то есть по генеральному плану строительства трубопровода. Все сооружения, предполагаемые к строительству, предварительно изображаются на генеральном плане, который составляется на топографической основе в масштабах 1:10000 – 1:25000 для линейной части и для участков переходов в масштабах 1:500 – 1:2000. Генеральным планом называется основной чертеж контуров проектируемых сооружений, составляющих комплекс проектируемого трубопровода.

В процессе окончательных изысканий разбивают и закрепляют на местности ось окончательной трассы и составляют рабочие чертежи по всем инженерным сооружениям проектируемого трубопровода. Рабочим называется чертеж, на котором графически нанесены все главные точки оси трубопровода, даны координаты и высоты (X, Y, H) этих точек, а также отдельных элементов сооружения, указывается взаимосвязь этих элементов, а также привязка к опорным пунктам и так далее.

Проект трассы, разработанный камерально по картам или стереоизображениям, полученным на стереоприборах с использованием аэроснимков, переносят в натуру по графическим координатам углов поворота оси трассы от точек геодезического обоснования или ближайших четких контуров местности.

3.1. Разбивочные работы. Подготовка к перенесению объектов генплана на местность

Для перенесения на местность объектов инженерных сооружений составляются разбивочные чертежи. Разбивочным называется чертеж, на котором приводятся число-

вые данные, определяющие положение основных точек сооружений относительно опорных геодезических пунктов.

Эти числовые данные для составления разбивочного чертежа могут быть получены графическим, аналитическим или графо-аналитическим способами. На рисунке 3.2. показан вид разбивочного чертежа для разбивки оси трассы проектируемого трубопровода.

3.2. Графический способ

Этот способ основан на определении необходимых величин по плану с использованием циркуля и транспортира. Данный способ наименее точный, так как графическая точность определения длин линий Δl определяется по формуле

$$\Delta l = l m, \quad (3.1)$$

где l – наименьший линейный отрезок, который может быть взят с плана и равен приблизительно $l = 0,0002$ м $\approx 0,20$ мм; m – знаменатель численного масштаба плана.

Следовательно, точность графического определения исходных данных зависит от масштаба плана. Для масштаба 1:500 $\Delta l = 0,0002$ м $\cdot 500 = 0,10$ м, а для масштаба 1:5000 эта ошибка $\Delta l = 1,0$ м. Исходя из этого, определение исходных данных в основном производится аналитическим и графо-аналитическим способами.

3.3. Аналитический способ

При аналитическом способе все проектные данные находятся путем математических вычислений. Для этого координаты главных точек существующих зданий, сооружений и пунктов опорной сети определяют геодезической привязкой в натуре, а размеры элементов проекта задают, исходя из технологических расчетов и схем горизонтальной планировки. Проектные координаты главных и основных точек сооружений указываются на генплане.

Решением обратной геодезической задачи определяют длины линий и углы для перенесения в натуру главных и основных осей сооружений трубопровода от пунктов геодезической основы или

от постоянных заданий. Этим устраняется влияние ошибок графического проектирования на точность разбивочных работ.

3.4. Графоаналитический способ

Этот способ представляет собой сочетание аналитического и графического способов. Он наиболее часто применяется на практике, при этом часть исходных данных определяется графически с топоплана, остальные данные определяются аналитически.

3.5. Основные способы выполнения разбивочных работ в плане и их точность

Способы разбивочных работ обратны способам съёмки. Разбивочными работами называются геодезические построения, на основании которых определяют на местности проектное положение сооружения и его частей в плане и по высоте.

Эти работы включают: 1) построение на местности линий заданной длины; 2) построение на местности заданных углов; 3) вынесение на местность точки с заданной проектной отметкой; 4) построение на местности линий и плоскостей заданного уклона.

Разбивку основных и главных точек сооружений производят способами прямоугольных координат, полярных координат, линейных и угловых засечек. Рассмотрим эти способы при перенесении оси трассы трубопровода в натуру.

1. Способ полярных координат.

Из перечисленных выше способов разбивки точек чаще всего пользуются способом полярных координат, при котором, откладывая на местности проектные углы и расстояния, определяют проектное положение точек по оси проектируемого трубопровода.

Подготовительные вычисления заключаются в определении значений проектных углов и расстояний по координатам главных точек трассы трубопровода и пунктов геодезического обоснования решением обратной геодезической задачи.

Ниже приведен пример графоаналитической подготовки данных для разбивки точек А, 1, II, III, В оси трассы трубопровода (рис. 3.1). Для перенесения оси трассы трубопровода в натуру положен опорный теодолитный ход и вычислены координаты его вершин 1, 2, 3, ... Координаты вершин точек А, 1, II, III, В получены графически с топографической карты. Значения координат приведены в табл. 3.1. По координатам этих точек решением обратной геодезической задачи находят разбивочные элементы — углы и расстояния по формулам (3.2, 3.3, 3.4). На рис. 3.1 приводится разбивочная схема определения таких элементов.

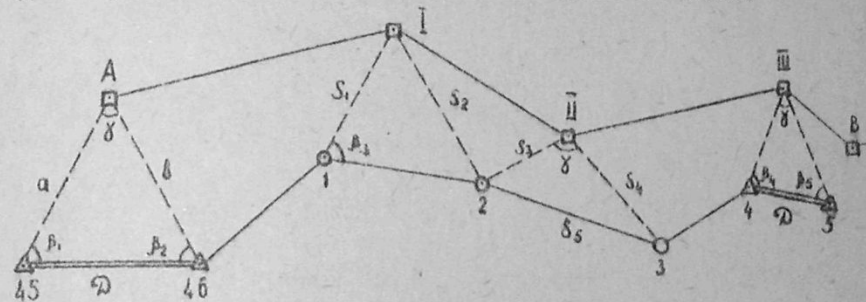


Рис. 3.1. Разбивочная схема:

1, 2, 3 — точки теодолитного хода; А, 1, II, ... — разбивочная ось трассы трубопровода

$$\beta_{1-2} = \alpha_{1-2} - \alpha_{1-1}, \quad (3.2)$$

где α — дирекционный угол соответствующей линии.

$$\operatorname{tg} \alpha_{1-2} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}; \quad \operatorname{tg} \alpha_{1-1} = \frac{y_1 - y_1}{x_1 - x_1}. \quad (3.3)$$

$$S_1 = \frac{y_1 - y_1}{\sin \alpha_{1-1}} = \frac{x_1 - x_1}{\cos \alpha_{1-1}}; \quad S_2 = \frac{y_1 - y_2}{\sin \alpha_{2-1}} = \frac{x_1 - x_2}{\cos \alpha_{2-1}}. \quad (3.4)$$

Аналитический расчет разбивочных элементов может быть выполнен при помощи таблиц натуральных значений тригонометрических функций, ЭЦВМ, малых вычислительных машин либо при помощи таблиц логарифмов. Пример решения задачи для линии 1-1 (рис. 3.1) при помощи таблиц натуральных значений тригонометрических функций

кий приведен в табл. 3.2. Аналогично выполняются вычисления для всех других разбивочных элементов (П, Ш, В и так далее). Полученные таким образом данные вписывают на схему (рис. 3.2), являющуюся разбивочным чертежом перенесения проекта оси трассы трубопровода в натуру.

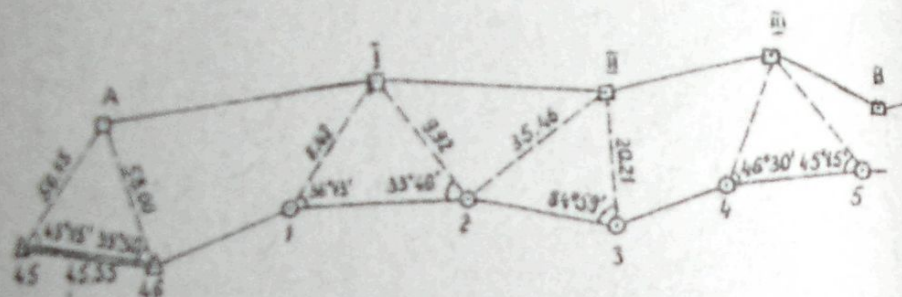


Рис. 3.2. Вид разбивочного чертежа

На точность перенесения точек проекта в натуру способом полярных координат влияют:

- погрешность откладывания полярного расстояния $\frac{m_s}{S}$;
- погрешность построения полярного угла m_β ;
- погрешность закрепления точки, перенесенной на местность.

Считая перечисленные погрешности действующими независимо и пренебрегая погрешностями в положении пунктов опорной разбивочной сети, получим

$$m = \sqrt{\left(\frac{m_s}{S}\right)^2 S^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho''}\right)^2 S^2 + m_d^2}, \quad (3.5)$$

где $m_d = \pm 0,5$ см.

При расстоянии $S = 100$ м погрешность m_s при тех же условиях составит ± 4 см. Следовательно, при перенесении проекта в натуру опорные ходы следует прокладывать на расстояниях от разбивочных контуров, не превышающих 10-20 м. Данная формула (3.5) позволяет также рассчитывать, с какой точностью следует выполнять угловые и линейные измерения, если задана погрешность планового положения разбивочной точки [13].

Таблица 3.1
Координаты углов оси трассы
трубопровода и теодолитного хода

№ угла	X	Y
1	1703,54	1416,82
1	1702,78	1408,43
2	1663,41	1473,81

Таблица 3.2
Расчет разбивочных элементов

Порядок решения задачи	Формулы и обозначения	Значения величин
1	Y_I	1416,82
3	Y_1	1408,43
5	$Y_I - Y_1$	8,39
10	$\text{cosec } \alpha$	1,004
12	$S = (Y_I - Y_1) \text{cosec } \alpha$	8,425
2	X_I	1703,54
4	X_1	1702,78
6	$X_I - X_1$	0,76
11	$\sec \alpha$	11,085
13	$S = (X_I - X_1) \sec \alpha$	8,424
7	$\text{tg } \alpha = \frac{Y_I - Y_1}{X_I - X_1}$	11,097
8	α	CB: 84 49,5
9		84 49,5
14	$S_{\text{ср.}}$	8,42 м

2. Способ угловой засечки применяется при разбивке точек, значительно удаленных от пунктов геодезической сети, и определяется с построением на местности углов β_1 и β_2 , образованных с твердой стороной Д и направлением на определенную точку А с её конечных точек.

Углы вычисляются решением обратной геодезической задачи, как разность дирекционных углов соответствующих сторон. Средняя квадратическая погрешность m_d положения точки определяется по формуле

$$m_A = \pm \frac{m_p \cdot D}{p \cdot \sin^2 \gamma} \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}, \quad (3.6)$$

где m_p — средняя квадратическая погрешность построения углов β_1, β_2 ; D — базис; a и b — расстояния от точек 45 и 46 до определяемой точки A . Если a и b известны, тогда

$$m_A = \frac{m_p}{p \cdot \sin \gamma} \sqrt{a^2 + b^2}. \quad (3.7)$$

Наибольшая точность достигается при $\gamma = 109^\circ$.

3. Способ линейных засечек применяется при определении точек, близко расположенных от опорных пунктов (точек). Он заключается в том, что расстояниями S_1 и S_2 , как радиусами, проводят на местности дуги, пересечение которых определяет проектное положение точки Π (рис. 3.2).

Точность разбивки способом линейных засечек определяется погрешностями построения радиусов засечки (S_1, S_2) и величиной угла γ , её вычисляют по формуле

$$m^2 = \frac{m_{S_1}^2 + m_{S_2}^2}{\sin^2 \gamma} \quad \text{или} \quad m^2 = \frac{m_s^2}{S} \sqrt{S_1^2 + S_2^2}, \quad (3.8)$$

где γ должен быть не менее 65° и не более 115° ; m — средняя квадратическая погрешность в положении точки (Π).

Подсчет погрешностей необходим для того, чтобы они не превосходили допустимых норм погрешностей в плановом положении. Если указана точность, то на оценку точности влияют не только ошибки разбивки, но и монтажных работ. Исходя из найденных величин m , рассчитывают точность измерения, разрабатывают методику работ, подбирают геодезические приборы для разбивочных работ.

Определив в натуре положение углов поворота по данным их привязки и установив в створе ряд вех, обследуют намеченное направление, особенно переходы через водотоки и овраги, пересечение существующих магистралей и другие сложные участки.

Иногда смещают провешанную линию и передвигают углы поворота трассы, чтобы более удобно разместить элементы плана и

профиля трассы и обеспечить минимальный объем строительных работ. Окончательное положение вершин углов поворота закрепляют на местности. Трасса должна быть надежно закреплена, чтобы её легко можно было найти и восстановить перед строительством. Все опорные пункты трассы, фиксированные точки, вершины углов поворота и створные точки, места переходов через круглые препятствия и примыкания закрепляют деревянными или железобетонными столбами и составляют абрис привязки их к местным предметам [19, 19].

Переход AB через водную преграду закрепляют двумя специальными знаками по оси на каждом берегу. Один из знаков устанавливают непосредственно у русла водоема, другой — на границе затопления высоких вод (рис. 3.3). Точку примыкания дороги O и пересечение C закрепляют створной плоскостью, то есть двумя столбами, установленными в створе с этой точкой и расположенными по одну или по разные стороны от примыкания.

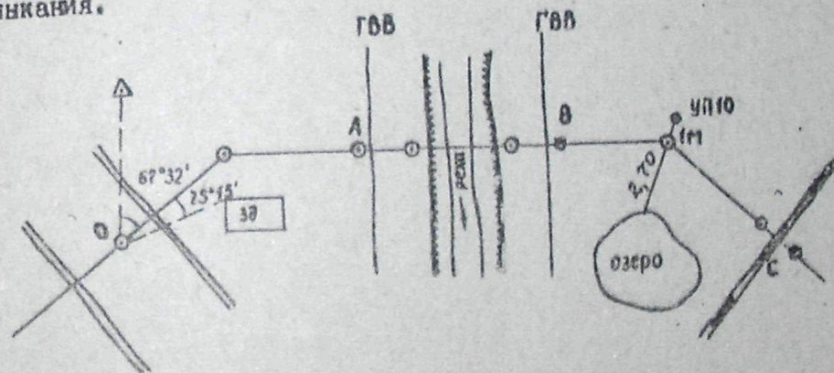


Рис. 3.3. Абрис закрепления трассы:

○ — знак закрепления

На углах поворота (УП) столбы обычно ставят с внешней стороны угла по направлению биссектрисы на расстоянии около 1 м от закрепленной вершины. Знаки маркируют масляной краской. При этом на угловых знаках надписи делают на стороне, обращенной к меньшему пикету.

Закрепление трассы несколько усложняется, если между соседними углами поворота нет прямой видимости. Направление трассы в этом случае может быть определено несколькими способами:

а) на одной из вершин углов поворота поднимают на растяжках шар или вертикально пускают сигнальные ракеты, на которые с другого угла поворота наводят трубу теодолита, определяя направление трассы; б) между соседними углами поворота прокладывается вытянутый теодолитный ход, от примычной стороны этого хода задается направление трассы; в) направление трассы задают по видимым с угла поворота створным точкам; г) направление трассы задают по истинному азимуту гиротеодолитом и так далее.

Определив тем или иным способом направление трассы на местности между углами поворота производят по трассе угловые и линейные измерения, разбивку пикетажа, нивелирование, съёмочные работы.

Вдоль трассы прокладывается магистральный теодолитный ход, нивелированием определяются отметки пикетных точек, ведется съёмка площадок под головные и промежуточные станции и участков в местах пересечения трубопроводом различных препятствий и коммуникаций.

Вешение линий между точками хода производят теодолитом. Расстояние между углами поворота и створными точками измеряют лентой или дальномерами ДНТ-2, ДНБ-2, ОТД со средней относительной ошибкой $1/1000-1/2000$. При углах наклона больше 2° в результате измерений вводят поправку за наклон.

Вслед за измерением углов и сторон трассы разбивают пикетаж. Пикеты устанавливают через 100 м. Кроме целых пикетов отмечают в натуре плюсовые точки: характерные перегибы рельефа местности и контурные - пересекаемые трассой сооружения, границы угодий и так далее (с точностью до сантиметра).

На косогорах перпендикулярно трассе в обе стороны от оси разбивают поперечники.

Непосредственно в процессе разбивки пикетажа вводят со знаком "плюс" поправку за наклон местности с тем, чтобы расстояние между пикетами равнялось 100 м по горизонтальному проложению.

На углах поворота большинства трасс производят вставки кривых и пересчет по ним пикетажа. В качестве таких кривых обычно применяют дуги окружностей больших радиусов (круговые кривые).

3.6. Ведение пикетажного журнала. Привязка и закрепление трассы

Одновременно с разбивкой пикетажа ведут пикетажный журнал (рис. 3.4). Запись в нем делают снизу вверх.

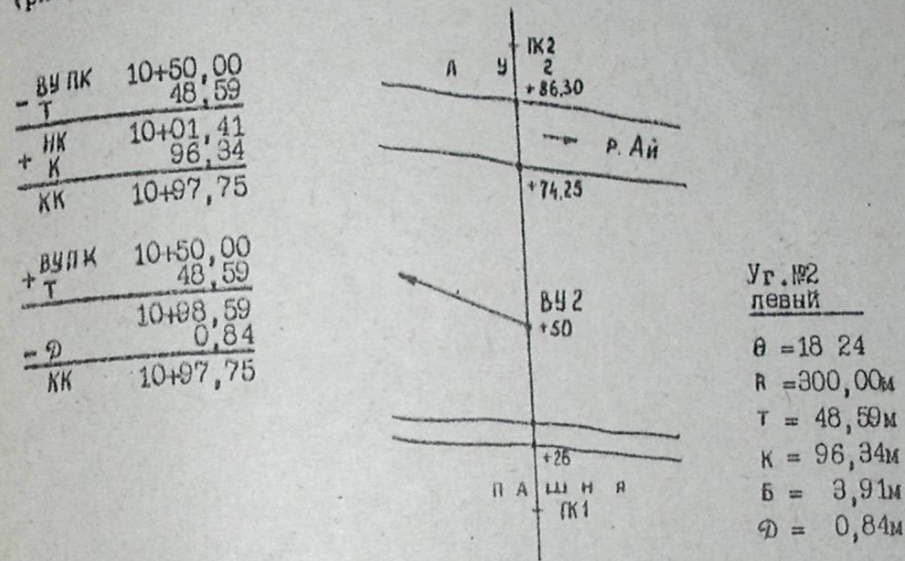


Рис. 3.4. Схема пикетажного журнала

В нем показывают ось трассы трубопровода в виде прямой линии посередине страницы, на которой в некотором масштабе наносят все пикетные и плюсовые точки, углы поворота, поперечники, границы препятствий и ситуацию примерно на 50 м в обе стороны от оси.

Запись в пикетажном журнале ведется снизу вверх, чтобы правая и левая стороны страницы соответствовали правой и левой стороне трассы по ходу пикетажа. Углы поворота в журнале показывают в виде стрелок, направленных вправо или влево от средней осевой линии в зависимости от того, в какую сторону поворачивает трасса. Около углов поворота выписывают принятые элементы кривых: угол поворота θ (с указанием правый или левый), радиус R ; тангенс T , кривую K , биссектрису B ; домер D ;

здесь не подсчитывают пикетажные наименования начала и конца кривой.

В сложных горных условиях и в населенных пунктах целесообразнее вести пикетажный журнал в виде абриса, то есть не вытягивать ось трассы в прямую линию, а изображать её ломаной линией, как она идет в натуре, и относительно этой линии показывать ситуацию.

Разбивка главных точек кривых. На углах поворота трасс линейных сооружений производят вставки кривых и пересчет по ним пикетажа. В качестве таких кривых обычно применяют дуги окружностей больших радиусов (круговые кривые).

Основными элементами круговых кривых являются (рис. 3.5) угол поворота θ , измеряемый в натуре; радиус кривой R , назначаемый в зависимости от диаметра трубы $d_{тр.}$, например, при $d_{тр.} = 500,00$ мм, $R = 500,00$ м; длина касательных $AC=BC=T$, называемая тангенсом; длина кривой $AFB = K$; длина биссектрисы $CF = D$; величина домера Δ .

По известным θ и R элементы T, K, B и D находят по таблицам кривых (В.Н. Ганьшин, Л.С. Хренов. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых. - М.: Недра, 1966) или вычисляют по формулам, используя чертеж на рис. 3.5.

Из чертежа видно, что

$$\begin{aligned} T &= R \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}; \\ K &= R \frac{\pi \cdot \theta}{180^\circ}; \\ D &= R \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right); \\ \Delta &= 2T - K = R \left(2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} - \frac{\pi \theta}{180^\circ} \right). \end{aligned} \quad (3.9)$$

Из формул (3.9) видно, что все элементы кривой пропорциональны радиусу R . На этом основании табличные данные, рассчитанные на определенный радиус, например, 1000 м, могут быть приведены к величине любого радиуса R путем умножения на коэффициент $R/1000$.

По значениям основных элементов круговых кривых находят

главные точки кривой. Главными точками кривой называются точки начала, конца и середины кривой.

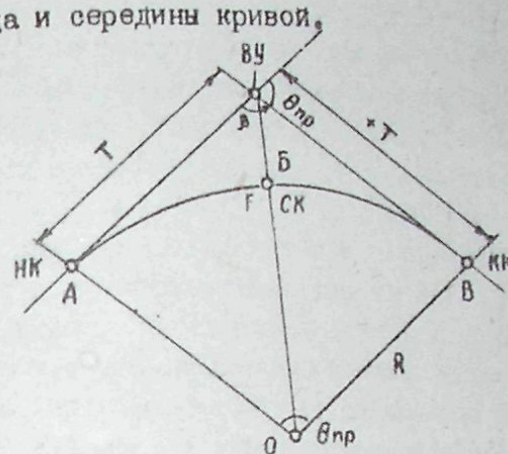


Рис. 3.5. Основные элементы круговой кривой

На местности разбивку кривой ведут по тангенсу до вершин угла (ВУ) поворота. Пикетное наименование - ПК ВУ, начала - НК, конца - КК и середины - СК кривой находят из выражений

$$\begin{aligned} \text{ПК НК} &= \text{ПК ВУ} - T; \\ \text{ПК КК} &= \text{ПК НК} + K; \\ \text{ПК СК} &= \text{ПК НК} + \frac{K}{2}, \end{aligned} \quad (3.10)$$

где через ПК ВУ обозначено пикетажное значение вершины угла поворота.

Контрольными формулами являются

$$\begin{aligned} \text{ПК КК} &= \text{ПК ВУ} + T - \Delta; \\ \text{ПК СК} &= \text{ПК КК} - \frac{K}{2}. \end{aligned} \quad (3.11)$$

Работа по разбивке круговых кривых делится на два этапа: разбивка главных точек кривой, которая выполняется одновременно с разбивкой пикетажа, и детальная разбивка кривой, выполняемая после в процессе строительства трассы трубопровода.

Начало кривой НК в натуре находят откладыванием от вершины угла поворота ВУ в обратном направлении величину тангенса (рис. 3.5). Для нахождения точки конца кривой КК по новому направлению от вершины угла поворота ВУ откладывают величину

тангенса T без домера A .

Для нахождения на местности середины кривой СК угол поворота хода B делят пополам и по этому направлению откладывают длину d биссектрисы B . При разбивке пикетажа и кривой лентой относительная предельная погрешность измерений не должна быть более $1:1000$.

Вынесение точек с касательных на кривую. При трассировании пикетаж разбивают по тангенсам, а трасса в дальнейшем пойдет по кривой, поэтому возникает необходимость вынесения пикетных точек с тангенсов на кривую, чтобы правильно определить отметки на кривых. Вынесение точек на кривую производят способом прямоугольных координат с использованием таблиц для разбивки кривых. Координаты пикета на кривой определяют по формулам или выбирают из специальных таблиц для разбивки кривых по аргументам K (K - удаление пикета от начала или конца кривой).

Положение пикетных точек на кривой можно найти так: от точки НК по тангенсу ~~до~~ отложить абсциссу X и из точки M перпендикулярно тангенсу - ординату y . Но для удобства работ на практике вместо абсциссы X от пикета по тангенсу в сторону НК отмеряют величину $K-x$, которую называют "кривой без абсциссы". При этом величины $K-x$ и y выбирают из таблиц для разбивки кривых. Вынос пикетных точек с каждого тангенса на кривую делают попутно с разбивкой главных точек кривой.

Пример. Пусть пк 48 лежит на тангенсе (рис. 36). По разности пикетажного значения выносимой точки пк. 48 и НК (или КК) определяют длину кривой (77,29 м) и находят по таблицам для радиуса кривой (600 м) координаты: $K-X = 0,21$ м, $y = 4,97$ м

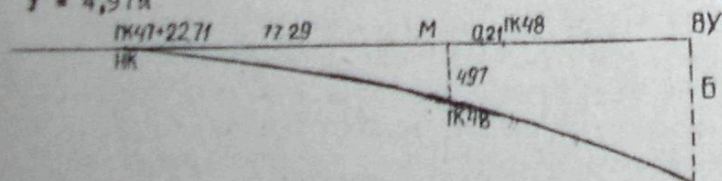


Рис. 36. Вынесение точек с тангенса на кривую

Отложив по тангенсу от пк 48 по направлению к НК величину $K-X = 0,21$ м и по перпендикуляру, восстановленному в найденной точке, ординату $y = 4,97$ м, определяют на кривой положение пк 48. В конце ординаты забивают точку и с тангенса переносят сюда сторожок с надписью пк 48. Подобным образом выносят на кривую и другие пикетные точки до ВУ. После вынесения всех пикетных точек на кривую и закрепления их разбивают пикетаж по новой линии, но с учетом домера, чтобы номер пикета указывал его расстояние от начала трассы, измеренное не по тангенсам, а по кривой.

Привязку трассы (в натуре) в пунктах геодезической основы следует производить через каждые 20-30 километров. Трасса должна быть надежно закреплена, чтобы её легко можно было восстановить перед строительством. Пикеты и плюсовые точки закрепляют кольями и окапывают канавкой. Все опорные пункты трассы (вершины углов поворота, переходы, пересечения и так далее) закрепляют деревянными или железобетонными знаками. Эти основные точки привязывают к местным предметам с составлением абриса или фотоабриса.

При закреплении трассы постоянные реперы устанавливают через 20-30 километров, а также в местах пересечений, переходов и примыканий. Дополнительно через 2-3 километра устанавливают временные реперы. Реперы должны находиться вне зоны земляных работ будущего строительства.

3.7. Нивелирование по оси трассы трубопровода для построения профиля

Все точки, закрепленные по оси трассы трубопровода, разделяются на связующие и промежуточные.

Связующими точками являются те, на которые делают отсчеты по одной и той же рейке с двух смежных станций (рис. 3.7).

Эти точки являются самыми важными в нивелировании. Все остальные точки нивелирования называются промежуточными. Продольное нивелирование по оси проектируемого трубопровода выполняют нивелированием 4^{го} класса или техническим нивелированием.

В этом случае применяют нивелиры НС-2, НВ-1 и НСМ-2А, а также НС-3. Рейки применяют двусторонние (желательно с уровнями).

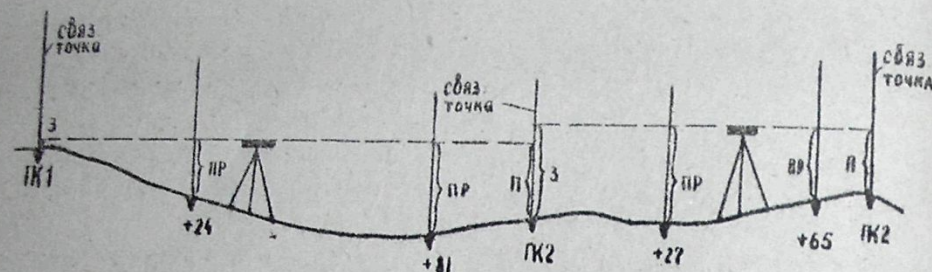


Рис. 3.7. Схема нивелирования на станции

На больших трассах техническое нивелирование производят двумя нивелирами. Первым нивелируют все пикеты, плюсовые точки, постоянные и временные реперы. Вторым нивелируют поперечники и для контроля - реперы и связующие точки трассы.

Нивелирование в одном направлении разрешается на небольших трассах, когда ход опирается на реперы или нивелирные точки основной трассы. Расстояние от рейки до инструмента допускают 100-150 м.

Нивелирование начинают с репера или первого пикета, устанавливая инструмент посередине между связующими точками. Связующими точками могут быть и плюсовые точки, а иногда иксные (рис. 3.8). На связующих точках устанавливают вертикально рейки и делают отсчеты по ним в такой последовательности:

- по черной стороне задней рейки (Зчер);
- по черной стороне передней рейки (Пчер);
- по красной стороне передней рейки (Пкр);
- по красной стороне задней рейки (Зкр).

Перед каждым отсчетом пузырек устанавливают на середину. Отсчеты по рейкам с точностью до миллиметра вносят в нивелирный журнал. На станции в нивелирном журнале вычисляют превышения по формуле: $h_1 = 3\text{чер} - \text{Пчер}$; $h_2 = 3\text{кр} - \text{Пкр}$.

Разность превышений ($h_1 - h_2$), полученных по черным и красным сторонам реек, не должна быть больше 10 миллиметров. В случае несоблюдения этого условия работа на станции должна быть переделана.

Если произведенный контроль даст удовлетворительный результат, то задний рабочий переходит на переднюю точку или на все последующие промежуточные точки +24, +81 ... и так далее. Нивелировщик делает отсчеты по рейке в промежуточных точках только по черной стороне рейки и записывает в журнал. После нивелирования всех промежуточных точек инструмент снимается и переносится на следующую станцию, задняя рейка переносится на следующую связующую точку.

Таким образом, реечник, бывший передним, теперь становится задним, и, наоборот, реечник, бывший задним, становится передним.

Этим достигается исключение из результата некоторых постоянных ошибок в нанесении делений реек и разницы в положении нулевых точек.

В процессе производства полевых работ производят постраничный контроль в нивелирном журнале.

Трасса может пересекать глубокие и узкие овраги и реки. При пересечении трассой глубоких оврагов нивелирование ведется в такой последовательности (рис. 3.8).

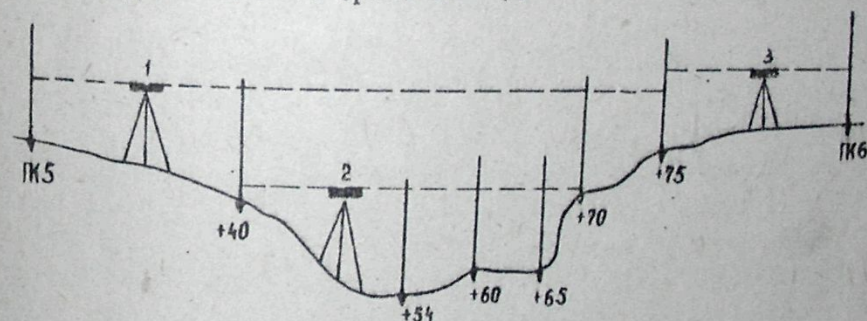


Рис. 3.8. Схема нивелирования через овраг

Нивелир устанавливают на станцию № 1 (можно в стороне от трассы), а рейки ставят на пк 5 и на точке пк 5+75 по другую сторону оврага. Записывают отсчеты по красной и черной сторонам рейки и тем самым передают отметку с пк 5 на точку пк 5+75. Затем задний реечник переходит на точку пк 5+40 и пк 5+70. Берут отсчеты только по черной стороне рейки, то есть эти точки нивелируют как промежуточные, а их отметки определяют через горизонт инструмента, используя отметку пк 5.

После этого нивелир переносят на станцию № 2. Рейка в точке пк 5+40 остается на месте и, так как отметка её будет известна из нивелирования со станции № 1, то по ней определяют в дальнейшем горизонт инструмента на станции № 2. Визируют на заднюю точку пк 5+54, +60 и на пк 5+65. Визируют на переднюю точку пк 5+40 и делают отсчет по черной стороне рейки, а точки пк 5+54, +60 и +65 нивелируют как промежуточные. Затем переходят с нивелиром на станцию № 3, а рейки устанавливают в точке пк 5+75 и на пикете 6. Отметка точки пк 5+75 известна из нивелирования со станции № 1. Сделав со станции № 3 на точку пк 5+75 взгляд назад, а на пикете 6 - взгляд вперед, получают отметку пикета 6.

3.8. Нивелирование через водоемы и реки

При нивелировании через водные преграды, ширина которых превышает 100 м, возникает необходимость применения особых приемов.

При наличии моста высотная связь берегов устанавливается нивелирным ходом, прокладываемым по мосту. При отсутствии моста передачу высот производят различными способами. Допустим, ширина реки около 300 м. В этом случае на обоих берегах реки на высоте 2-х м от горизонта воды закрепляют точки А и В для установки реек и точки J_1 , J_2 для установки нивелира (рис. 3.9).

Соотношение длин линий AJ_1 и BJ_2 , а также J_1A и J_2B нужно брать таким, чтобы можно было наблюдать рейки без изменения фокусировки, в точках А и В забивают колья длиной не менее 50 сантиметров. На кольях устанавливают рейки.

В точке J_1 устанавливают нивелир и производят отсчеты по обеим сторонам двусторонних реек, установленных в точках А и В. Отсчеты брать по всем трем нитям. Затем, не меняя фокусировки трубы, инструмент переносят на другой берег J_2 и производят наблюдения по программе, аналогичной первой. Данные наблюдений заносят в журнал нивелирования и производят вычисления превышений обычным порядком. Результат отдельного приема вычисляют как среднее из превышений двух станций, расхождение между превышениями не должно быть больше 10 мм на каждые 100 м расстояния.

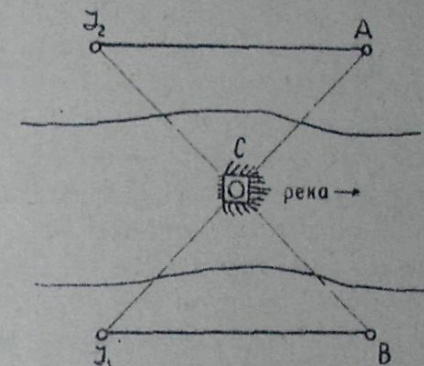


Рис. 3.9. Схема нивелирования через реку

Пусть a и b - отсчеты, полученные на первой станции, a' и b' - полученные на второй станции. Тогда искомое превышение точки В над А получим дважды:

$$h' = a - b; \quad h'' = a' - b'; \quad h = \frac{h' + h''}{2}$$

Передачу высот рекомендуется делать дважды в разное время дня.

При ширине реки в 300-500 м при наличии в средней части её отмели на последней забивают прочную сваю С (рис. 3.9). В точках J_1 и J_2 устанавливают нивелиры и одновременно производят отсчеты по рейкам, находящимся в точках А и В на противоположных берегах реки и на свае С. С каждой станции отсче-

ти делают по трем нитям и по обеим сторонам двухсторонней рейки или при двух горизонтах инструмента при односторонних рейках.

Окончательное значение превышений между точками А и В получают как среднее арифметическое из всех значений.

Если река глубокая и не имеет откосов, передачу высоты производят по льду нивелированием между временными реперами, установленными на обоих берегах до морозов.

Нивелирование через заболоченные участки. Когда трасса пересекает заболоченные площади, то лучше всего нивелировку выполнять нивелиром с самоустанавливающейся линией визирования типа НС-3, НС-4, НСН-2А или нивелирование производить зимой, применяя при этом обыкновенные нивелиры без компенсаторов. При необходимости вести нивелирование через заболоченные участки летом работают двумя нивелирами, забивают толстые колья для установки штатива. Для постановки реек на заболоченных местах применяют более солидные колья, чем обычно и забивают их наклонно и глубоко в грунт.

Нивелирование поперечника. В точке пк 2+41 разбит поперечник. Для его нивелирования на станции 3 нивелировщик устанавливает инструмент с таким расчетом, чтобы с этой станции можно было пронивелировать пикеты 2 и 3 и точки поперечника право +20, лево +12, лево +20. Однако это не всегда возможно из-за рельефа местности. В данном случае со станции 13 пронивелированы пикеты 2 и 3, точки пк 2+41, право +20 правой части поперечника. Левая часть поперечника пронивелирована со станции 4, как показано на рис. 3.10.

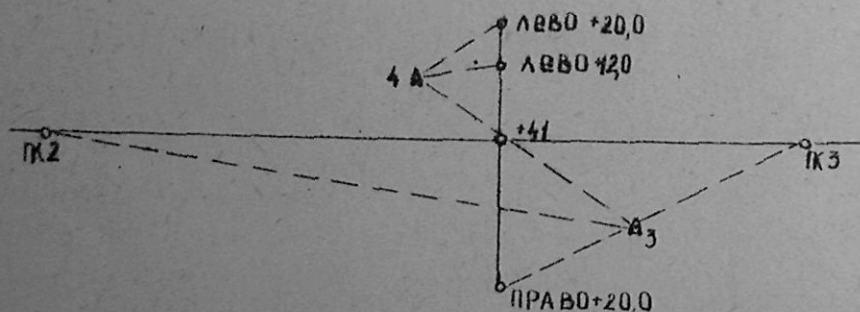


Рис. 3.10. Схема нивелирования поперечника

Пикеты 2 и 3 служат связующими точками трассы, а точка пк 2+41 — промежуточной. При нивелировании поперечника со станции 4 точка пк 2+41 будет связующей, так как отметки точек лево +12 и лево +20 вычисляются по отметке точки пк 2+41 как исходной. Со станции 4 отсчет на точку пк 2+41 будет взглядом назад. В журнале нивелирования отсчеты на точке поперечника вносятся в графу промежуточных точек и отсчеты снимаются на этих точках только по черной стороне рейки. Пронивелировав поперечник, нивелир переносят на следующую станцию, и нивелирование продолжается подобно предыдущему.

Икс о в н е т о ч к и. В зависимости от рельефа местности связующими точками могут быть и плюсовые точки, а иногда точки, вовсе не предусмотренные при разбивке пикетажа. Эти точки называются иксовыми. Иксовая точка служит для передачи отметки от связующих точек, поэтому расстояние от неё до пикетов не измеряют и на профиль её не наносят. На крутых скатах между пикетами иногда приходится делать более двух постановок нивелира, в соответствии с этим назначают несколько иксовых точек, тогда расстояние от нивелира до реек становится слишком малым, а так как нивелир от рейки не рекомендуется ставить ближе 10 м, то нивелир устанавливают в этих случаях в стороне от трассы, чем увеличивают расстояние от него до реек.

К о н т р о л ь н и в е л и р о в а н и я. Для исключения и ослабления влияния погрешностей нивелирование производят с контролем как на каждой станции, так и всего нивелирного хода. Для контроля нивелирования начальную и конечную точки трассы желательно привязать к реперам (маркам), а при их отсутствии произвести нивелирование трассы в двух направлениях (как указано выше). Длинные трассы рекомендуется нивелировать двумя нивелирами в одном направлении: один нивелировщик идет следом за другим, причем первый нивелирует все точки, а второй — только связующие точки. Результаты нивелирования ежедневно сличают и обнаруженные погрешности исправляют. Этот способ дает наиболее надежный контроль нивелирования.

При нивелировании большое значение имеет установка рейки и нивелира в правильное положение. Рассмотрим расчет точности установки рейки и уровня во время работы, так как перед сня-

тием отсчетов по рейке пузырек уровня тщательно приводят в нуль-пункт.

Для технического нивелирования средняя квадратическая погрешность установки шкалового уровня на нуль-пункт может быть принята равной

$$m_y = 0,2 \tau'' \quad (3.12)$$

где τ'' - цена деления уровня.

При расстоянии от нивелира до рейки 50, выражаемом в миллиметрах, эта ошибка в линейной мере составит

$$m_y = \frac{m_y'' S}{\rho''} = \frac{0,2 \tau'' S}{\rho''} \quad (3.13)$$

Ошибка отсчета по рейке для расстояний 100-200 м может быть выражена эмпирической формулой

$$m_o = 0,06 + 0,2 \frac{S}{V} \text{ мм}, \quad (3.14)$$

где t - цена деления рейки, мм; V - увеличение зрительной трубы.

При $S = 200$ м, $\tau = 20''$, $V = 25\times$, $t = 10$ мм получим

$$m_y = \pm 3,9 \text{ мм}; \quad m_o = \pm 2,2 \text{ мм}.$$

Третьей существенной погрешностью является погрешность заклон рейки:

$$m_n = \frac{b V^2}{2 \rho^2}, \quad (3.15)$$

где b - высота визирного луча над пяткой рейки; V - угол наклона рейки от вертикали при её установке на глаз. Приняв $b = 3000$ мм, $V = 2^\circ$, получим $m_n = \pm 1,8$ мм.

С учетом погрешностей делений рейки ($m_d = \pm 1$ мм), внешних условий ($m_{\phi} = \pm 2-3$ мм) общая погрешность взгляда при $S = 200$ м составит в среднем около 5-6 мм, что соответствует требованиям технического нивелирования.

Точность технического нивелирования по основной магистрали характеризуется следующими величинами:

1) невязка хода между твердыми пунктами или замкнутого полигона не должна превышать

$$\text{пред. } f_h = \pm 50 \text{ мм } \sqrt{L},$$

где L - число километров в ходе или полигоне;

2) расхождение между суммами превышений, полученных из первого и второго нивелирования, не должно превосходить

$$\text{пред. } \Delta h = \pm 50 \sqrt{2} \sqrt{L} = \pm 70 \sqrt{L} \text{ мм}.$$

В противном случае нивелирование следует повторить.

Перерывы в работе. При перерывах в работе нивелирование следует заканчивать на постоянном или временном репере или на двух-трех точках, расположенных впереди хода и основательно закрепленных.

После перерыва работу начинают с проверки нивелированием превышений двух-трех передних точек. Точки, изменение превышений которых не больше 5 мм, принимаются как связующие для дальнейшей работы.

3.9. Съёмочные работы вдоль трассы

При полевом трассировании производят топографическую съёмку отдельных участков и площадок в крупном масштабе (1:500 - 1:2000). Съёмке подлежат переходы через водотоки, горные ущелья и перевалы, места пересечений существующих магистралей, участки со сложным геологическим строением, площади под станции и различные службы. В равнинной залесенной местности съёмку производят по поперечникам. В сильно пересеченной, сравнительно открытой местности применяют тахеометрическую или мензульную съёмку. На крупных мостовых переходах и в горных районах выгодно применять наземную стереофотограмметрическую съёмку.

При съёмке узкой полосы вдоль трассы (по 150-200 и по обе стороны от оси) плано-высотной опорой служат точки трассы.

На пикетах и плюсовых точках строят поперечники, по которым разбивают пикетаж и производят нивелирование. Если намеченных точек недостаточно для детальной съёмки участка, то от основных поперечников в стороны разбивают еще дополнительные поперечники. При съёмке полосы участка шириной более 500 м необходимо предварительно развить опорную сеть в виде замкнутых теодолитно-нивелирных полигонов, ходов короткобазисной полигонометрии в закрытых и полузакрытых местах и сетей микро-

пунктуации или геодезических засечек в открытой местности [9].

В случае наличия на район изысканий материалов аэрофотосъемки значительно облегчаются полевые изыскательские работы и повышается их качество. Отпадает необходимость в подробных полевых съемках ситуации вдоль трассируемой линии. В этом случае подробные съемочные работы на трассе не ведут, а на фотопланах основывают и дополняют ситуацию, в необходимых местах рисуют рельеф.

На основании полевого трассирования и материалов аэрофотосъемки составляют план по оси трассы в масштабе 1:5000 - 1:10000, а планы отдельных пересечений и площадок в масштабе 1:500 - 1:1000. Кроме ситуации снятой полосы вдоль трассы, на план наносят реперы, знаки крепления, пикеты, начало и конец кривых. На закруглениях подписывают элементы кривых, на прямых участках - длины линий и их азимуты.

3.10. Геодезические и гидрометрические работы на участках переходов через водные препятствия

Многие вопросы, связанные с обеспечением надежности эксплуатации магистральных трубопроводов, зависят от правильного выбора участка створа перехода и способа пересечения водных преград, встречающихся на трассе. Любой переход трубопровода может быть запроектирован и построен так, чтобы обеспечить его надежную работу в соответствии с расчетными сроками эксплуатации. Однако затраты на сооружение и эксплуатацию различных вариантов переходов могут сильно различаться. В связи с этим возникает задача выбора надежного в эксплуатации и оптимального по стоимости варианта.

В настоящее время такая задача может решаться с помощью ЭВМ методом динамического программирования. В качестве критерия оптимальности используются приведенные затраты [2, 6]. При этом необходимая исходная информация будет сниматься с различных топографических и аэрофотосъемочных материалов.

После выбора намеченных оптимальных вариантов переходов

выполняются на их участках геодезические и гидрометрические работы, целью которых является составление продольных профилей по основным и дополнительным створам и топографического плана в крупном масштабе (1:500, 1:1000, 1:2000), причем масштаб плана зависит от ширины русла водоема.

В настоящее время одним из основных типов переходов через реки со спокойным течением является подводный переход. В этом случае трубопровод укладывают, как правило, по подземной схеме, то есть с заглублением в дно водоема. В тех случаях, когда нет опасности повреждения труб внешними воздействиями, трубопровод может быть уложен без заглубления по дну водоема.

3.11. Картографический и аэрофотосъемочный материал района перехода, его использование

Для выбора места перехода как с помощью ЭВМ, так и без её применения используются крупномасштабные топографические карты масштабов 1:10000 или 1:25000.

На такие карты наносится трасса трубопровода в районе перехода. С крупномасштабных топографических карт снимаются с точностью 1-3 м отметки берегов в районе перехода, изучается их очертание и расчленение рельефа берегов. По картам и материалам аэрофотосъемки изучается русло реки, план её поймы, вычисляется приближенная отметка уреза воды в межень. Эти данные позволяют наметить несколько вариантов оси перехода и трасс подходов, связывающих переход с общим генеральным направлением трассы.

Хорошим материалом для уточнения направления осей вариантов перехода служат аэроснимки в масштабе от 1:60000 и крупнее. Если такие снимки имеют привязки к точкам государственной геодезической сети, то можно уточнить их масштаб и, выбрав возможный по техническим требованиям вариант, нанести его на крупномасштабную карту для сравнения с другими вариантами.

Для определения масштаба аэроснимка можно пользоваться зависимостью

$$\frac{1}{M} = \frac{a}{A} = \frac{1}{N},$$

(3.16)

где m - знаменатель численного масштаба; a, A - расстояния между двумя одноименными точками на снимке и в натуре; f - фокусное расстояние аэрофотоаппарата; H - высота фотографирования.

Формула (3.16) выведена с учетом отвесного положения оси аэрокамеры и горизонтальной местности. Эта видимость дает два решения задачи.

Первое решение, если известны H и f , второе - если известны a и A , то есть нужно опознать на местности две точки, измерить между ними расстояние и найти a по аэроснимку. Разность высот между двумя опознанными точками при $f = 200$ мм не должна превышать 4 м на каждую тысячу метров высоты полета H при отстоянии точек от центра аэроснимка около 5 сантиметров. В противном случае нужно ввести поправку за влияние рельефа в положение каждой точки на аэроснимке по формуле:

$$\delta = \frac{z \cdot h}{H}, \quad (3.17)$$

где z - расстояние точки от центра аэроснимка; h - высота точки, отличающаяся от среднего уровня местности, изображенной на аэроснимке.

При этом, если точка ниже среднего уровня, то есть превышение h отрицательное, то линия на снимке удлиняется на поправки, а если выше - линия укорачивается.

Таким образом, используя формулы (3.16) и (3.17), можно найти масштаб аэроснимка при условии отвесности оси аэрокамеры до 3° и не сильно пересеченной местности.

Главная цель использования аэроснимков - получить данные о состоянии ложа реки и об очертании её русла. Чтобы судить об изменениях очертания русла, лучше использовать для этой цели аэроснимки, снятые в разное время, скажем, с промежутком между последовательными съёмками в 5 - 6 лет. Сопоставляя между собой аэроснимки, видим тенденции к смещению русла реки, что очень важно при выборе места пересечения, направления трассы и в дальнейшем для проектирования укрепительных сооружений. Необходимо использовать все материалы изысканий предыдущих лет.

Если производят изыскания перехода через судоходную реку, необходимо также использовать карту лоции реки, издаваемую обычно в масштабе 1:5000. На ней указывают бровку коренного берега и возвышение её над уровнем воды, бровку меженного берега (границу чаши русла) и её возвышение. Иногда проводят горизонтали берега, меженный урез воды и изобаты судоходной глубины (обычно 2,5 метра). Показывают существующие переходы, переправы, пристани и ряд других данных, используемых при вождении судов по реке. Карты эти подлежат проверке и корректировке через каждые 2-5 лет.

Кроме того, необходимо получить планы городов в районе проектируемого перехода и проект планировки их в районе, прилегающем к реке, а также данные о ближайших карьерах строительного камня и о заводах строительных материалов. В управлении речного судоходства следует узнать типы проходящих по реке судов и их габариты, а также размеры плотов. В местном отделении госгеонадзора надо получить данные о прежних съёмках в районе перехода и достать подлинные планшеты мензульной съёмки или планы тахеометрической съёмки, а также городские съёмки, если они захватывают район перехода. В местном управлении пути речного флота могут быть получены планы съёмки отдельных участков реки, составленные для проектов её регулирования и для землечерпательных работ.

3.12. Выбор оптимального створа перехода

Из всего многообразия створов перехода необходимо выбрать по возможности такой, чтобы затраты на его строительство были бы наименьшими. При нахождении приведенных затрат необходимо учитывать такие факторы, как протекание руслового процесса, характеристики местности и грунтов, конструктивные особенности строительства и так далее. Оценка сметной стоимости строительства трубопровода должна будет проводиться не только на подходах к водной преграде, но и на её пересечении. При выборе оптимального створа используют на практике метод динамического программирования в сеточной постановке.

Рассмотрим эту задачу. Под "оптимальным створом" будем считать такую трассу трубопровода на участке между точками А и Б (рис. 3.11), полная величина критерия оптимальности (приведенные затраты) вдоль которой будет минимальной.

На возможную область развития линии трубопровода в пределах участка, допускаемого генеральным направлением трассы, наносится сетка с диагоналями, каждой дуге которой соответствует число, характеризующее величину приведенных затрат на данной дуге.

Так как приведенные затраты обладают свойством аддитивности, то может быть использован принцип оптимальности Беллмана [2, 6].

Таким образом, задача нахождения оптимального створа сводится к определению приведенных затрат по всем дугам сетки

$$W_{пр} = CK + Э, \quad (3.18)$$

где К - капитальные вложения, С - коэффициент эффективности капитальных вложений, Э - эксплуатационные издержки [6, 4].

Для определения критерия оптимальности при выборе направления трассы трубопровода в районе перехода необходимо знать протяженность участков различной категории по элементам трассы снятых с карт, планов, фотопланов того масштаба, по которым ведется выбор направления трассы и стоимость строительства 1 км трубопровода по прейскуранту на строительство линейной части магистральных трубопроводов.

При расчетах необходимо учитывать все особенности руслового процесса на всех створах, которые намечены дугами сетки. Тип руслового процесса характеризуется определенными плановыми и глубинными деформациями реки.

В тех случаях, когда проектируется подводный переход трубопровода, для всех типов руслового процесса заглубление труб должно быть сделано ниже предельной границы размыва как в русловой части, так и на береговых участках. При строительстве воздушного перехода необходимо предусмотреть размещение опор на участках берегов, мало подверженных плановым деформациям при наименьшей возможной длине перехода. Если водоем имеет большую ширину, опоры в русле следует размещать в наименее деформируемых точках. Использование материалов аэрофотосъемки, крупномасштабных топографических карт, лоцманских карт и планов,

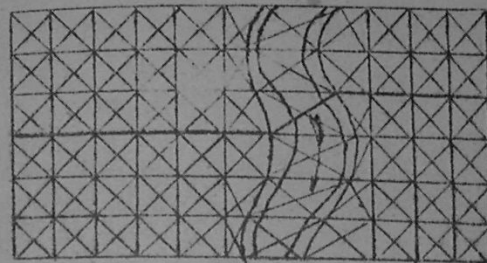


Рис. 3.11. Выбор оптимального варианта перехода через водное препятствие

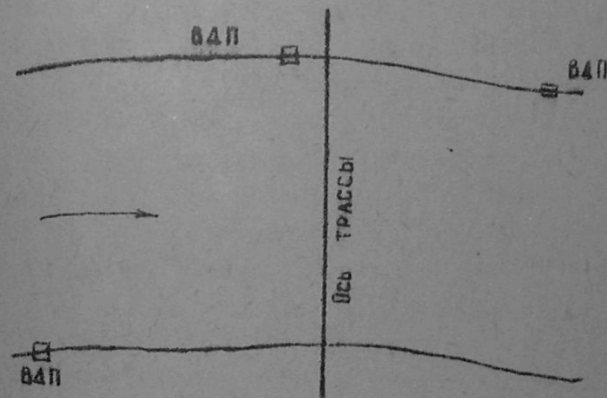


Рис. 3.12. Расположение водомерных постов для съемки русла реки

составленных по сѣткам разных лет, позволяет при проектировании переходов установить тип участка русла и определить количественные показатели протекания руслового процесса.

3.13. Съёмочные геодезические работы в районе перехода

К подводным трубопроводам, уложенным на участках переходов магистральных трубопроводов через водные преграды и которые эксплуатируются в наиболее сложных гидрогеологических условиях, предъявляются повышенные требования, что накладывает свой отпечаток и на организацию геодезических работ.

При производстве геодезических работ, выполняемых на участках подводных переходов на стадии окончательных изысканий, особое значение имеет определение планового и высотного положения точек дна водоема. По данным таких геодезических измерений составляется крупномасштабный план в горизонталях участка русла водоема, используемый для прогнозирования развивающейся деятельности потоков, деформаций русла и продольных профилей по намеченным створам укладки ниток трубопровода на переходе.

Перед производством съёмочных работ на участке перехода должно быть создано съёмочное геодезическое обоснование. При создании планового обоснования могут встречаться большие трудности при проложении обычных теодолитных ходов в тех случаях, когда пойма реки покрыта кустарником и лесом. Кроме того, частые промоины и лощины служат серьезным препятствием для измерения сторон ходов лентой и для визирования вдоль реки при измерении углов. В связи с этим целесообразно применять при переходах (шириной более 300 метров) через широкие водоемы триангуляцию (аналитическую сеть) 1, 2 разряда с расположением и закреплением на местности пунктов на обоих берегах реки.

На реках шириной до 300 метров применяется метод засечек профессора А.И. Дурнева или прокладывается теодолитный ход таким образом, чтобы его стороны направлялись наискось через реку и измерялись оптическими дальномерами с относительной ошибкой не ниже $1/2000$. Такое обоснование на участке перехода обязательно привязывается к магистральному ходу по генеральному

направлению трассы трубопровода.

Высотной основой съёмок являются ближайшие реперы государственного нивелирования.

В начале работ по съёмке русла реки необходимо на участке проектируемого перехода установить временные водомерные посты.

Один должен располагаться вблизи оси перехода, два — по концам обследуемого участка. Чаще всего ставят свайные водомерные посты (рис. 3.12) на створе, перпендикулярном направлению течения; в местах, где нет причала судов и где обеспечивается сохранность постов. После того как намечено их положение, забивают ряд свай так, чтобы верх каждой сваи не возвышался над уровнем земли более чем на 0,2 метра. Разность высот соседних свай обычно близка к 0,5 метра и не превышает 1 метра. В верх сваи забивают штырь с круглой выпуклой головкой. Нижняя свая должна быть около низшего горизонта, высшая — около горизонта высоких вод (ГВВ). На берегу ставят репер, связанный с высотной основой перехода. Сваи нумеруют, начиная с верхней, и тщательно нивелируют.

Наблюдения за урезом воды на них делают либо три раза в сутки (в 7, 13 и 19 ч), либо в начале и конце рабочего дня изыскательской партии. Затем производят разбивку поперечных профилей с закреплением их концов створными знаками. По оси перехода для каждой укладываемой нитки трубопровода снимают живые сечения, на продолжение профилей по береговым участкам характерные точки перегиба рельефа местности до ГВВ (горизонта высоких вод), отметка которого выбирается из каталогов постоянных водомерных постов. На границах обследуемого участка реки разбивают морфостворы и гидростворы нормально к направлению течения до отметки ВИГ (высокий исторический горизонт). При этом, если в пределах поймы течения направлены иначе, чем в главном русле, то направление морфоствора в плане может иметь один излом с углом поворота от начального направления до 20° .

В зависимости от ширины реки съёмку её производят различными способами. Однако независимо от способа для съёмки живых сечений необходимо разбить магистраль вдоль берега или привязать её к оси перехода. На этой магистрали нужно наметить положение живых сечений (обычно через $1/3 - 1/2$ ширины русла),

закрепить их колом длиной не менее 0,5 метра, и разбить теодолитом створ сечения по возможности перпендикулярно к основному направлению потока. Направление закрепляют сначала вехами (по две на каждом берегу), поставленными так, чтобы каждая пара была видна с точек, расположенных по створу в русле.

У каждого берега на створе сечения забивают прочный урезной кол, на котором замечают уровень воды в момент промера живого сечения. Верх кола нивелируют с привязкой нивелирного хода к ближайшим реперам. Для контроля отметок уровня воды необходимо, чтобы при съёмке живого сечения производились наблюдения на водомерном посту в районе перехода.

При съёмке живых сечений по выбранным створам и при съёмке для составления плана русла водоема с проведением на нем горизонталей (по дну водоема) измеряют различными способами глубины водоемов.

Высотные отметки дна в точках промеров глубин определяются вычитанием от отметки уреза воды измеренных глубин.

Высотная отметка уреза воды в момент съёмки определяется по данным наблюдений на временных водомерных постах.

Глубины водоема могут измеряться наметками (шестами с делениями на малых реках), лотами и эхолотами.

Наметка представляет собой прямоугольный шест длиной до 6 метров и диаметром около 4-7 сантиметров.

В толстом нижнем конце шеста имеется башмак в виде отрезка трубы, в который заранее плотно забивают (с нижнего конца) кусок железа или чугуна весом 1 - 1,5 килограмма. От низа башмака шест раскрашивают масляной бело-черной или бело-красной краской на дециметры, которые нумеруют от низа. Отсчет делают с точностью до 5-ти сантиметров по ходу лодки. Промерщик, подходя к очередному месту промера, забрасывает в воду несколько вперед по ходу наметку и, поставив её на дно вертикально, производит отсчет, о чем громко сообщает записывающему.

Если глубина воды превышает 4 метра, то вместо наметки используют лот-линь, для чего применяют свинцовую или чугунную гирю, вес которой увеличивается в зависимости от скоростей течения (табл. 3.3).

Этот груз прикрепляют к стальному тросу диаметром, указанным

в табл. 3.3. При помощи алюминиевых блях трос размечают на метры, а обрезками кожи - на отрезки по 0,2 метра. При измерении им глубин с движущейся лодки груз забрасывают несколько вперед по ходу и натягивают в момент отсчета при подходе к нему лодки. Вследствие искривления троса течением воды полученные при отсчете глубины уменьшаются на 8-10%.

Таблица 3.3

	Скорость течения, м/с	Вес груза, кг	Диаметр троса, мм
	!	!	!
Менее	1,0	10-15	1,0
	1,0-2,0	25-50	1,5-1,8
	2,0-3,0	50-75	2,0-3,0
Более	3,0	75-100	3,0-4,0

На больших реках промеры глубин ведут эхолотом со льда или катера, двигающегося по разбитому створу перехода. Эхолоты определяют глубину потока по принципу ультразвуковой локации по скорости и времени прохождения импульса ультразвуковых волн от излучателя до дна реки и обратно. Зная скорость движения звука в воде (около 1500 м/с), положение вибраторов относительно поверхности воды, можно определить глубину водоема. Принцип действия эхолота показан на рис. 3.13. В настоящее время в СССР применяется в основном эхолот ИРЭЛ, характеристика которого приведена в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Характеристика эхолота

Эхолот ИРЭЛ	
Вес прибора, кг	54,0
Погрешность измерения, %	1,0-2,0
Напряжение источников питания, В	12,0
Измеренные глубины, м	0,2-20,0

Перед началом работы эхолот необходимо протарировать, так как шкала его установлена для определенной скорости звука в воде и для определенной температуры воды. Для тарирования выбирают место на реке с твердым дном (скала, плотная глина) глубиной 5-8 метров и производят измерения как эхолотом, так и нивелиром, после чего исправляют нуль батиграфа или шкалы эхолота на величину разности полученных глубин. В этом случае никаких поправок в показания эхолота вносить не нужно. Можно также подвесить под судном два железные полосы на определенной глубине и сравнить эту глубину с показаниями эхолота.

При производстве промеров глубин по створам последний обозначается на местности специальными знаками, расстояние между которыми должно быть рассчитано исходя из величины предельно допускаемого сноса промерного судна со створа.

При длине створной линии до 1 километра эти расстояния следует определять по формуле

$$l = \frac{dL}{2\Delta}, \quad (3.19)$$

где d - диаметр знака;

Δ - предельно допускаемое отклонение промерного судна от оси створа;

L - длина створной линии.

При производстве замеров глубин по створам укладываемых подводных трубопроводов

$$\Delta = \frac{D}{4} + 0,25 \text{ м}, \quad (3.20)$$

где D - диаметр трубопровода [22].

Определение планового положения точек промеров глубин может выполняться одним из следующих способов:

- 1) прямой угловой засечкой одним угломерным инструментом;
- 2) прямой угловой засечкой двумя угломерными инструментами;
- 3) промерами по льду;
- 4) с лодки по тросу;
- 5) обратной угловой засечкой с катера или шлюпки с помощью секстантов;

6) обратной фотограмметрической засечкой по методу В.И.Авгевича;

7) с помощью радиодальномерных систем. Анализируя указанные способы, следует отметить, что первый из них не имеет контроля, так как выход катера или лодки из створа не фиксируется; четвертый способ очень трудоемкий и не применим на переходах значительного протяжения. Измерения по льду обеспечивают высокую точность, однако из-за сжатых сроков проектирования не всегда возможно их проведение. Способ В.И. Авгевича требует применения специальной фотограмметрической аппаратуры для обработки результатов наземной съемки и специальной подготовки производителей работ.

Аппаратура для радиодальномерных привязок в плане точек промеров глубин с высокой точностью в настоящее время только разрабатывается (промышленные образцы еще не изготавливались).

В связи с этим привязка точек промеров глубин прямой засечкой двумя или тремя теодолитами с берега является наиболее удобным и точным способом. Такой метод широко применяется на практике. Применение трех теодолитов позволяет вести определение при движении катера или лодки косыми галсами как поперек течения, так и вдоль течения реки.

Теодолиты должны устанавливаться на пунктах геодезического обоснования. Расстояние от точек установки теодолитов до промерного створа должно составлять не менее 0,6-0,7 ширины реки. Если с точек обоснования сделать засечки почему-либо неудобно, нужно разбить и измерить длину специального базиса. В этом случае необходимо измерить угол между базисом и створом живого сечения и привязать базис к пунктам геодезического обоснования.

Для измерения глубин на живом сечении катер или лодка движется по створу, ориентируясь на выставленные створные знаки. Теодолит должен быть заранее ориентирован на соседнюю точку обоснования. Это значит, что должны быть совмещены нули лимба и верньера, а лимб сдвинут и закреплен так, чтобы центр сетки трубы был нацелен на вежу в наблюдаемом начальном пункте. После ориентирования наблюдатель у теодолита освобождает алидаду и медленно вращает трубу так, чтобы иметь движущуюся лодку все время в поле зрения трубы теодолита. При производстве

промера глубины с лодки подается знак флажком, наблюдатель же у теодолита наводит вертикальную сетку на наметку, закрепленную на лодке, а при невидимости её — на середину фигуры промерщика, делает отсчет по лимбу и верньеру и его записывает.

Чтобы не перепутать записи, можно рекомендовать такой способ: записывающий в лодке держит две пары флажков двух цветов и чередует при промерах флажки в соответствующей последовательности, что облегчает ведение записей.

При производстве наблюдений по створам укладки подводных трубопроводов предельная погрешность планового положения точек промеров глубин не должна превышать

$$0,7 D + 0,7 M, \quad (3.21)$$

где D — диаметр трубопровода [14, 21, 22].

По данным съёмки составляется план участка перехода в масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000. Масштабы плана зависят от ширины водоема.

Сечение рельефа при съёмке берется равным 0,5 м для масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000 и 1 м для масштаба 1:5000. На каждом берегу реки устанавливается постоянный репер.

3.14. Геологические и гидрометрические работы и их привязка

Планы и профили, снимаемые для составления проекта перехода, получаются неполноценными, если на них не показаны места геологических исследований и точки местности, связанные с гидрогеологическими работами. Геологические исследования производят при помощи геологических выработок: шурфов, буровых скважин, канав, а также путем электроразведки. Места, где такие исследования проводились, обязательно нужно привязывать к точкам геодезической основы или к показанным на плане постоянным сооружениям с точностью масштаба плана.

Если геологическое строение можно проследить по геоморфологическим признакам, то необходимо, чтобы геологи указали топографические особенности строения рельефа, которые характеризуют геологическое строение, чтобы топограф мог это учесть при съёмке.

Существенно важна высотная привязка устьев скважин или верха выработок. В зависимости от степени требуемой точности этих высотных данных привязку производят либо тахеометром, либо кипрегелем, а чаще всего — методом геометрического нивелирования.

Все полученные данные о местах геологических исследований должны быть нанесены на плане и профиле и обозначены соответствующими условными знаками.

Гидрометрические работы тесно связаны с геодезическими, а работы по определению уклона реки и скоростей, а также направления поверхностного течения могут быть проведены полностью геодезическими методами. Такие работы имеют особо важное значение, когда сооружаются воздушные переходы на опорах, расположенных в русловой части реки.

Уклон реки определяют следующим образом. На основе данных прежних исследований устанавливают примерную величину падения зеркала реки на протяжении одного километра. В зависимости от величины этого падения назначают способ и класс нивелирования с учетом, что погрешность нивелирования на 1 километр должна составить в среднем не более $1/30$ от величины падения h . В соответствии с этим ниже в виде таблицы показано примерное распределение класса нивелирования в зависимости от падения реки.

Уклон определяют в пределах оси перехода: вниз — на одну ширину реки и вверх — на длину, вдвое большую.

О протяжении, на котором нужно определять уклон реки, нет точных указаний. Например, в Наставлении по изысканиям переходов указано, что его нужно определять на протяжении трех плесов и трех перекатов и в то же время нужно нивелирование доводить до места, где обнаружены признаки следов ГВВ выше оси перехода.

Падение реки на 1 км, см

Класс нивелирования

5-10	
10-20	второй
20-40	третий
более 40	четвертый

техническое нивелирование

Для нивелирования реки разбивают вдоль одного из берегов теодолитную магистраль, к которой привязывают в плане урезные кольца (рис. 3.14).

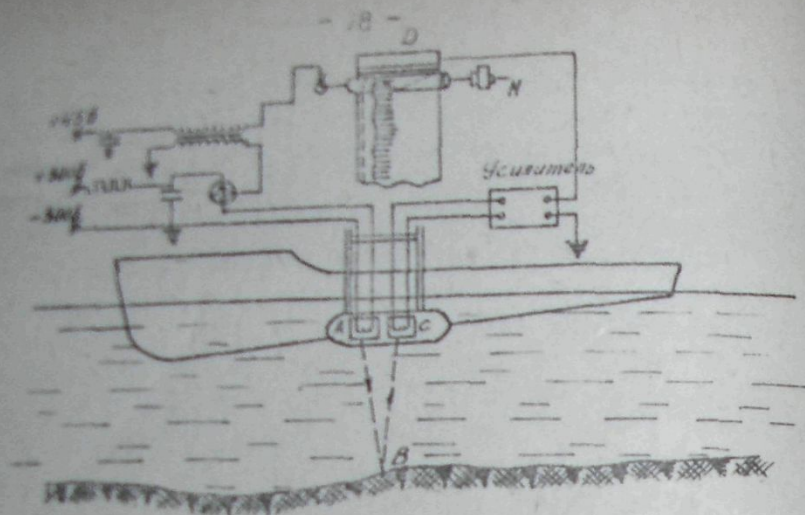


Рис. 3.13. Принцип действия эхолота

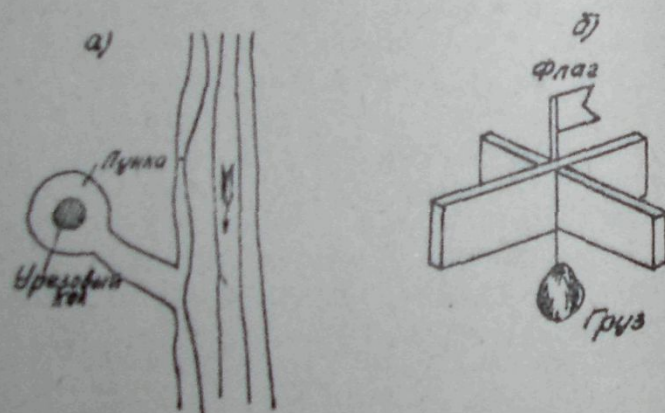


Рис. 3.14. Уровневый код в лунке (а), поплавок (б)

Эти колья забивают в реку у берега по концам и по середине каждого плеса и переката, причем в местах крутых излучин реки эти колья забивают у обоих берегов для определения поперечного ската реки. Вместе с тем в указанном Наставлении есть требование, чтобы расстояние между кольями при ширине русла до 250, 500 и 1000 метров составляло соответственно 100, 200, 500 метров (не менее).

Уровень воды на урезных кольях отмечают одновременно на всем участке нивелирования. Одновременность получается либо по сигналу, либо по часам. Если участок для нивелирования длинный и на нем имеется несколько водомерных постов, связанных нивелированием по высоте, то можно разбить весь участок на отрезки по числу водомерных постов и отмечать одновременно урезы воды на каждом отрезке участка реки независимо.

Верх урезных колея нивелируют с точностью, указанной выше, прямым и обратным ходом. После уравнивания при допустимых невязках отметки уреза воды у колея вычисляют с учетом расстояний от верха колея до горизонта, отмеченного карандашом на каждом колу, после чего вычисляют уклоны реки по участкам между соседними урезными кольями. При этом расстояния между кольями относятся к стержню реки.

Определение скоростей течения по плавкам. Поплавки изготавливают разными способами: а) используют бутылки, наполовину заполненные песком и плотно закупоренные пробками, оканчивающимися палочками длиной 15 сантиметров с флажками; б) распиливают бревна диаметром 15-20 сантиметров на отрезки высотой 6-10 сантиметров, удаляют из них на 6-8 сантиметров сердцевину, красят в красный цвет и сверху ставят флажки. На больших реках, когда поплавок приходится наблюдать на больших расстояниях, успешно испытан на практике поплавок такого устройства: две доски длиной около 1 метра врезаются по ребру на полдерева (рис. 3.14); в месте их соединения прибивают на палке флажок из цветной материи, а внизу привязывают груз весом 3-4 килограмма (камень, кирпич, мешок с песком).

При помощи поплавков исследуют направление течения и его скорость выше оси перехода, на протяжении участка длиной при-

близительно равного ширине реки, но не менее трехкратной длины проходящих по судоходной реке караванов (буксир и прикрепленные к нему баржи или плоты). Вниз по реке от оси перехода поплавки пропускают на расстояние вдвое меньшее, чем то, которое берется выше створа.

Чтобы зафиксировать на плане реки траекторию движения свободно пущенного поплавка, делают засечки теодолитом или мензулой с берега с трех точек, привязанных к плановой основе. Поплавков пускают последовательно столько, чтобы можно было получить траекторию движения их на всю ширину реки.

Значительно экономичней (чем с трех точек) можно сделать засечки односточным способом. Точку стояния инструмента (теодолита-тахеометра) надо выбирать на возвышенном месте так, чтобы в теодолит был виден весь исследуемый участок реки. Инструмент надо хорошо выверить и определить место нуля.

В районе наблюдений, в одном створе с точкой стояния теодолита, надо иметь водомерный пост и геометрическим нивелированием найти разность высот нуля поста и точки стояния. Встав с инструментом на точку, измеряют высоту инструмента. Далее, совместив нули лимба и алидады, ориентируют инструмент либо по какой-то точке основы, либо по предмету, который снят на генеральный план или детальный план района перехода.

В верховом по течению конце изучаемого участка реки, метров на 20-30 выше его, намечают двумя вехами пусковой створ. На него выезжает лодка с поплавками и становится на якорь на первой струе, сообразуясь с общим числом намеченных к пуску поплавков. По сигналу от пункта наблюдения с лодки пускают поплавков. Его с пункта наблюдения засекают обычно по часам точно через две минуты или по секундомеру делают отсчет до секунды следующим образом: сетку трубы наводят на поплавок у места погружения его в воду. Записывают отсчеты угла по горизонтальному кругу и, приведя пузырек уровня алидады вертикального круга на середину, делают и записывают отсчет по вертикальному кругу. Как показано на рисунке 3.15, зная разность высот зеркала воды и оси вращения трубы инструмента, а также угол наклона трубы, можно получить расстояние до поплавка:

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg} \beta} \quad (3.22)$$

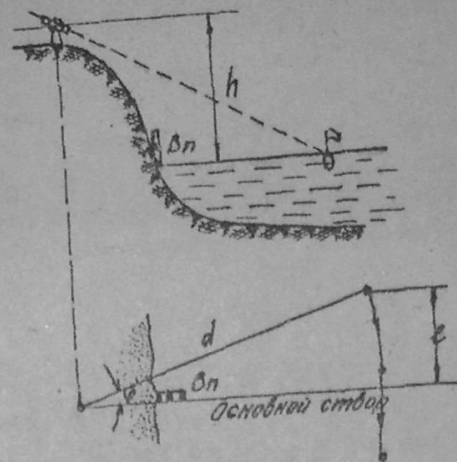


Рис. 3.15. Односточный способ

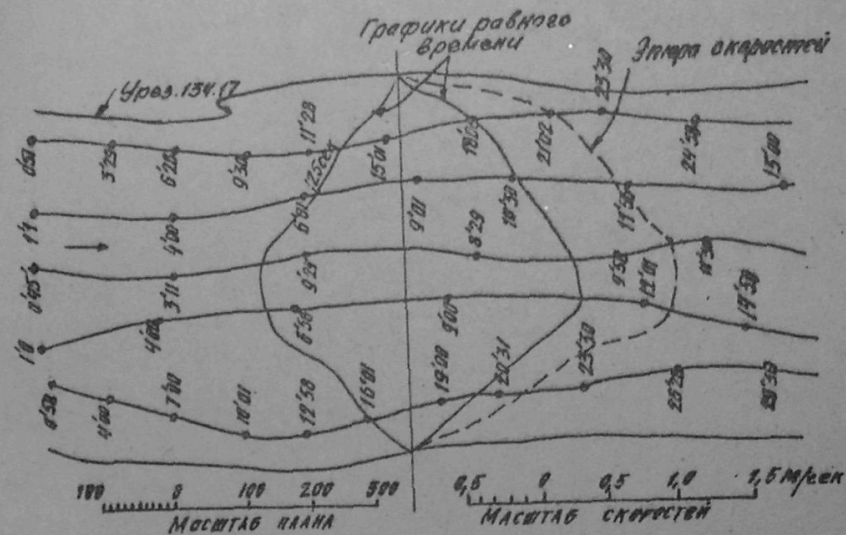


Рис. 3.16. План направления и скоростей

Для уточнения величины d надо знать отсчет горизонта воды на водомерной посту. Учитывая интенсивность изменения уровня воды, наблюдения на водомерном посту производят либо в начале и в конце рабочего дня, либо через три часа или каждый час. Для момента наблюдения поправка производят интерполяцию смежных наблюдений.

Если река имеет значительный уклон, то:

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg} \varphi + 2 \sin \varphi} \quad (3.23)$$

Величина угла наклона трубы, согласно указаниям Наставления, не должна быть меньше величин, указанных в табл. 3.5.

Когда поплавки доходят до конца исследуемого участка, с лодки на пусковом створе спускают новый (по сигналу от инструмента), а использованный поплавок иногда вылавливают с дежурной лодки для последующего использования.

Рекомендуется для контроля производить в момент наблюдения поплавок с основного пункта еще контрольные плановые засечки на поплавок без отсчета вертикального угла с другого пункта.

По полученным данным составляют план с траекториями поплавков (рис. 3.16). На плане, кроме обычного масштаба, вычерчивают еще масштаб скоростей, основание которого вычисляют по формуле (3.24).

Таблица 3.5

Высота инструмента над горизонтом воды	Минимальные углы наклона при масштабе съёмки			
	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
10	4°00'	3°00'	2°00'	1°30'
15	5°00'	4°00'	2°30'	1°45'
20	6°00'	4°30'	3°00'	2°00'
25	4°00'	5°00'	3°30'	2°15'
30	8°00'	5°30'	4°00'	2°30'
40	10°00'	6°00'	4°30'	3°00'

Основание масштаба скоростей поплавков равно пути, пройденному поплавком за время между двумя засечками при скорости

$v = 1 \text{ м/с}$, выраженному в масштабе плана в сантиметрах, то есть

$$a = \frac{v_n}{m} = \frac{100t}{m} \text{ см.} \quad (3.24)$$

Например, при $t = 2 \text{ мин.} = 120 \text{ с}$ и $m = 5000$ (масштаб плана 1:5000).

$$a = \frac{100 \cdot 120}{5000} = 2,4 \text{ см.}$$

Следовательно, на плане масштаба 1:5000 масштаб скоростей имеет основание 24 миллиметра, по которому, измеряя на плане расстояние между соседними точками, полученными засечками, можно отсчитывать скорость движения поплавка свободно с точностью 0,05 м/с.

Скорости течения могут определяться также гидрометрическими вертушками. Для измерения скорости потока вертушку на штанге опускают с лодки на определенную глубину. Вращение лопасти вертушки по проводам передается на сигнальное устройство и через каждые 20 оборотов всплывает лампочка или звенит звонок. По этим сигналам замечают время по секундомеру, откуда

$$v = \frac{N}{T}, \quad (3.25)$$

где N — общее количество оборотов вертушки; T — время, прошедшее от начала первого сигнала до последнего сигнала, с.

Плановое положение вертикалей, где замеряется скорость вертушками, определяют с помощью прямой засечки теодолитами с берега.

3.15. Геодезические работы, выполняемые при изысканиях площадок для головных сооружений, промежуточных станций и площадок пересечений с другими трассами линейных сооружений

При трассировании трубопровода особое внимание уделяют изысканиям площадок под головные сооружения и промежуточные станции.

На головных сооружениях идет подготовка к транспортировке добытых из месторождений нефти или газа. Здесь производится очистка транспортируемого продукта от влаги, различных примесей (отделение серы, гелия и так далее).

Промежуточные насосы и компрессорные станции необходимы для поддержания требуемого для перекачки нефти или газа напора в магистральном трубопроводе.

На площадках головных сооружений и промежуточных насосных или компрессорных станций располагается большое количество различных сооружений (насосные или компрессорные станции, здания административно-хозяйственного и эксплуатационно-хозяйственного назначения, внутриплощадочные трубопроводы, очистные фильтры, системы водоснабжения, канализации, электроснабжения, резервуарные парки и тому подобное).

Для проектирования таких сооружений необходимо составление топографических планов в масштабах 1:500 или 1:1000. Для составления планов площадок выполняют съёмку местности нивелированием по квадратам на тех участках, где местность имеет спокойный рельеф, и методом тахеометрической съёмки при сложном рельефе. Иногда выполняется мензульная съёмка.

Нивелирование поверхности по квадратам наиболее распространенный и точный вид вертикальной съёмки площадок под головные сооружения и промежуточные станции.

Рассмотрим этот метод. Нивелирование поверхности по квадратам выполняют в такой последовательности:

- 1) разбивают оси и сетку основных квадратов;
- 2) разбивают сетку заполняющих квадратов и плюсовых точек;
- 3) нивелируют вершины основных квадратов и вычисляют отмет-

- ки этих вершин;
- 4) нивелируют вершины заполняющих квадратов плюсовых точек;
- 5) ведут съёмку ситуации с помощью ленты и рулетки внутри заполняющих квадратов, составляют абрис.

Стороны заполняющих квадратов имеют следующие размеры:

размер заполняющих квадратов	масштаб	размеры основных квадратов
10x10	1:500	100x100
20x20	1:1000	200x200

Разбивка основных осей производится при помощи теодолита. Для этого в центре участка выбирают точку О пересечения начального направления основной оси АВ с осью СД, перпендикулярной АВ.

При разбивке сетки на миллиметровой бумаге составляют масштабную схему нивелирования поверхности, на которой дают единую нумерацию вершин нивелируемых квадратов. После этого приступают к нивелированию. Станцию для нивелира выбирают так, чтобы с неё можно было занивелировать большую площадь. Нивелирование начинают на станции с какой-нибудь вершины основного квадрата и заканчивают также на какой-либо вершине основного квадрата. Отсчет по рейке на заполняющих квадратах или на плюсовых точках производят только по черной стороне рейки. После окончания нивелирования приступают к вычислениям отметок вершин квадратов, затем составляют на ватмане план в горизонталях. Вершины основных квадратов наносят на план по координатам, а вершины заполняющих квадратов наносят, учитывая размеры сторон створным методом. Возле каждой вершины квадрата выписывают со схемы нивелирования высотные отметки с округлением до сантиметров. На основе всех выписанных отметок изображают рельеф в горизонталях через 0,25 метра при съёмке в масштабе 1:500 и 0,50 метра при съёмке в масштабе 1:1000.

Иногда условия местности не позволяют произвести разбивку квадратов, в таких случаях съёмка поверхности может производиться по поперечным профилям. По границе участка, подлежащего нивелировке, прокладывают теодолитный ход, вершины закрепляют геодезическими знаками. В процессе измерения сторон теодолитного хода намечают на противоположных сторонах створные точки. По

намеченным створам также отмечают пикетные точки, отстоящие одна от другой на равных расстояниях. Сначала нивелируют все точки по линиям теодолитного хода, затем остальные точки поперечников.

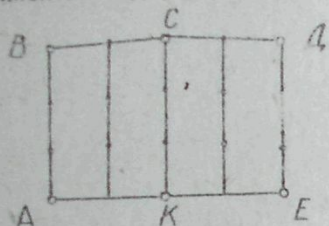


Рис. 3.15. Расположение профилей нивелирования

Отметки всех точек, расположенных на поперечниках, вычисляют после увязки нивелирных ходов по сторонам теодолитного хода. Одновременно с нивелированием поверхности производится съёмка ситуации участка этой местности. В результате съёмки ситуации получают абрис. На основании данных абриса составляют топографический план.

По данным нивелирования по квадратам составляется также проект вертикальной планировки площадки под головное сооружение или промежуточную насосную или компрессорную станцию. Проект вертикальной планировки является составной частью генерального плана строительства планировки и благоустройства территории.

Основными задачами вертикальной планировки являются:

- 1) обеспечение удобного и безопасного движения транспорта;
- 2) отвод поверхностных вод к подземным сетям канализации;
- 3) создание благоустройства промышленной площадки;
- 4) обеспечение правильного размещения по высоте отдельных частей сооружений.

Исходным материалом для разработки проекта вертикальной планировки служат топографические планы масштабов 1:500 - 1:2000.

В соответствии с разработанным проектом вертикальная планировка в дальнейшем осуществляется перемещением земляных масс.

Если рельеф участка должен быть спланирован горизонтальной площадкой под условием нулевого баланса земляных работ, проектная отметка такой площадки вычисляется по формуле

$$H_{пр} = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 3\sum H_3 + 4\sum H_4}{4n}, \quad (3.26)$$

где n - число квадратов; $\sum H_1$ - сумма отметок вершин, входящих в один квадрат; $\sum H_2$, $\sum H_3$, $\sum H_4$ - соответственно суммы отметок вершин, общих для двух, трех и четырех квадратов (рис. 3.16).

При проектировании наклонной площадки обычно задают её продольный i_x и поперечный i_y уклоны и отметку какой-либо исходной точки (рис. 3.17).

Проектная отметка любой точки, расположенной на расстояниях d_x и d_y от исходной, находится по формуле

$$H_{пр} = H_0 + d_x \cdot i_x + d_y \cdot i_y. \quad (3.27)$$

В обоих случаях проектирования объём земляных работ вычисляется по рабочим отметкам h_1 , h_2 , h_3 , h_4 вершин каждого квадрата. Если все четыре рабочие отметки имеют один и тот же знак, объём земляных работ в пределах данного квадрата вычисляют по формуле

$$V = \frac{1}{4} \sum h_i \cdot d^2, \quad (3.28)$$

где d - стороны квадрата.

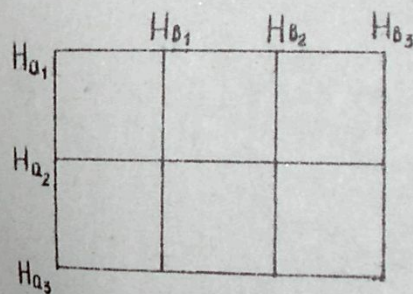


Рис. 3.16. Проектирование горизонтальной площадки под условием нулевого баланса земляных работ

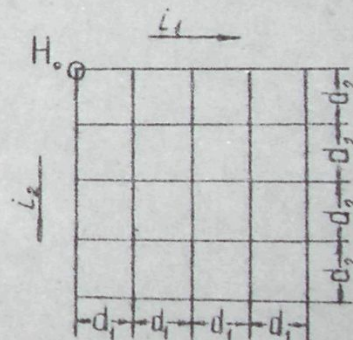


Рис. 3.17. Проектирование наклонной площадки

По сторонам квадрата, имеющего разные по знаку рабочие отметки и называемого переходным, находят положение линии нулевых работ по формуле

$$x = \frac{d \cdot |h_1|}{|h_1| + |h_2|}, \quad (3.29)$$

где d - стороны квадрата.

Затем разбивают квадрат на треугольники, являющиеся основаниями элементарных земляных тел. Объёмы этих тел вычисляются по формуле

$$V = \frac{S}{3} \sum h_i, \quad (3.30)$$

где S - площадь треугольника.

После этого составляется картограмма земляных работ, на которой указываются черные, красные и рабочие отметки, положение линии нулевых работ и значения объёмов насыпей и выемок как по полным квадратам, так и по их отдельным частям. Картограмма земляных работ является основным графическим документом текущего учета работ по вертикальной планировке площадки.

Проектирование строительной координатной сетки. Для разбивки в натуре перед производством строительных работ различных промышленных сооружений и зданий на площадках головных сооружений и промежуточных станций обычно применяют строительную сетку. Строительная сетка представляет собой систему смежных квадратов или прямоугольников, вершины которых закрепляются на местности специальными знаками и являются опорными геодезическими пунктами; стороны квадратов или прямоугольников строительной сетки обычно проектируют длиной 100-200 метров, располагая их параллельно главным осям сооружений. Точность определения пунктов в вершинах квадратов и прямоугольников в плане должна быть не менее $\pm 10-20$ миллиметров, так как от них выносятся в натуру основные оси зданий и сооружений. Проектирование строительной координатной сетки обычно выполняется на строительном генеральном плане. При проектировании сетки её стороны намечают недалеко от подлежащих разбивке зданий, размещая её пункты так, чтобы построенные здания не нарушали взаимную видимость между ними и земляные работы для устройства котлованов под сооружения и траншеи для трасс (водопровода, канализации, нефтепроводов, газопроводов) не привели бы к уничтожению её точек. При проектировании точек сетки должны быть учтены временные сооружения и подъездные пути на объекте строительства. Строительная сетка позволяет следующее:

- выполнять разбивку с одинаковой точностью на всей территории

площадки;

- довольно просто подготавливать данные для разбивки;
- пункты строительной сетки могут быть использованы в качестве обоснования для топографической съёмки в процессе строительства и по завершении строительства;
- обеспечивается надежный контроль разбивки, так как любая точка сооружения может быть перенесена в натуру независимо от двух взаимно перпендикулярных сторон сетки.

Участки пересечений магистрального трубопровода с другими трассами линейных сооружений шириной 100 метров снимают в масштабе 1:500 - 1:1000. Пересечение с дорожными магистралями проектируют под прямым углом.

Приложение

Категории местности для
трубопроводного строительства

Номер категории	Характеристика категории
Р а в н и н а	
1	Произвольная
2	То же
3	— " —
4	— " —
5	Грунт песчаный без леса с низким стоянием грунтовых вод
6	То же, с лесом
7	Грунт песчаный без леса с высоким стоянием грунтовых вод
8	То же, с лесом
9	Грунт глинистый без леса с низким стоянием грунтовых вод
10	То же, с лесом
11	Грунт глинистый без леса с высоким стоянием грунтовых вод
12	То же, с лесом
13	Грунт скальный без леса с низким стоянием грунтовых вод
14	То же, с лесом
15	Грунт скальный без леса с высоким стоянием грунтовых вод
16	Грунт плавунный
П у с т ы н я	
17	Закрепленные грунты
18	Незакрепленные грунты
19	Орошаемые земли
Б о л о т о	
20	I типа с лесом
21	II типа без леса
22	То же, с лесом
23	III типа без леса

Номер категории	Характеристика категории
Многолетнемерзлые грунты	
24	1-2 категории без леса
25	3-4 категории без леса
26	1 категории с лесом
27	2 категории с лесом
Переходы через реки	
28	I категории, ширина 10-30 м, грунт песчаный и глинистый
29	То же, грунт скальный
30	II категории, ширина 10-30 м, грунт песчаный и глинистый
31	То же, грунт скальный
32	II категории, ширина 31-100 м, грунт песчаный и глинистый
33	То же, грунт скальный
34	II категории, ширина 101-300 м, грунт песчаный и глинистый
35	То же, грунт скальный
36	II категории, ширина 301-1500 м, грунт песчаный и глинистый
37	III категории, ширина 10-30 м, грунт песчаный и глинистый
38	То же, грунт скальный
39	III категории, ширина 31-100 м, грунт песчаный и глинистый
40	III категории, ширина 101-300 м, грунт скальный
41	III категории, ширина 301-1500 м, грунт песчаный и глинистый
42	То же, грунт скальный
43	III категории, ширина 301-1500 м, грунт песчаный и глинистый
44	IV категории
Г о р ы	
(Продольный уклон обозначается через α , поперечный через β)	
45	Продольный уклон α 11-20°, грунт песчаный без леса

Номер категории	Характеристика категории
46	11-20°, грунт глинистый без леса
47	11-20°, грунт скальный
48	11-20°, грунт песчаный с лесом
49	11-20°, грунт глинистый с лесом
50	21-30°, грунт песчаный и глинистый без леса
51	21-30°, грунт скальный
52	21-30°, грунт песчаный и глинистый с лесом
53	31-50°, грунт глинистый без леса
54	31-50°, грунт глинистый с лесом
55	31-50°, грунт скальный

К о с о г о р

56	$\alpha = 0+20^\circ$, $\beta = 11+20^\circ$, грунт песчаный без леса
57	$\alpha = 0+20^\circ$, $\beta = 11+20^\circ$, грунт глинистый без леса
58	$\alpha = 0+20^\circ$, $\beta = 11+20^\circ$, грунт скальный
59	α более 20° , $\beta = 11+20^\circ$, грунт глинистый без леса
60	α более 20° , $\beta = 11+20^\circ$, грунт скальный
61	$\alpha = 0+20^\circ$, $\beta = 11+20^\circ$, грунт песчаный и глинистый с лесом
62	α более 20° , $\beta = 11+20^\circ$, грунт песчаный и глинистый с лесом
63	$\alpha = 0+20^\circ$, $\beta = 21+30^\circ$, грунт глинистый без леса
64	$\alpha = 0+20^\circ$, $\beta = 21+30^\circ$, грунт скальный
65	α более 20° , $\beta = 21+30^\circ$, грунт песчаный и глинистый без леса
66	α более 20° , $\beta = 21+30^\circ$, грунт скальный
67	$\alpha = 0+20^\circ$, $\beta = 21+30^\circ$, грунт песчаный с лесом
68	$\alpha = 0+20^\circ$, $\beta = 21+30^\circ$, грунт глинистый с лесом
69	α более 20° , $\beta = 21+30^\circ$, грунт песчаный с лесом
70	α более 20° , $\beta = 21+30^\circ$, грунт глинистый с лесом
71	$\alpha = 0+20^\circ$, $\beta = 31+50^\circ$, грунт глинистый без леса
72	$\alpha = 0+20^\circ$, $\beta = 31+50^\circ$, грунт скальный
73	α более 20° , $\beta = 31+50^\circ$, грунт глинистый без леса
74	α более 20° , $\beta = 31+50^\circ$, грунт скальный
75	$\alpha = 0+20^\circ$, $\beta = 31+50^\circ$, грунт скальный с лесом
76	α более 20° , $\beta = 31+50^\circ$, грунт глинистый с лесом

Номер категории	Характеристика категории
77	Переход через оползневые участки
78	Переход через овраги и балки
79	Переход через автомобильные и железные дороги
80	Населенный пункт (запрещение)

П р и м е ч а н и е. Категории 1, 2, 3 и 4 оставлены в качестве резервных.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Багратуни Г.В., Большаков В.Д. и др. Справочник геодезиста. -М.: Недра, 1966.-971с.
- Бабин Л.А., Бородавкин П.П. и др. Выбор трасс трубопроводов с помощью ЭЦМ. -М.: Недра, 1970.-127 с.
- Бабин Л.А., Ахметзянова Ф.Т., Волохов В.Я. Выбор оптимальных параметров при проектировании трасс трубопроводов. -М.: ВНИИОНГ, 1979.-46 с.
- Бородавкин П.П. Подземные трубопроводы. -М.: Недра, 1973, 300с.
- Бородавкин П.П., Шадрин О.Б., Черниев Д.А. Вопросы проектирования и эксплуатации подводных переходов нефте-и продуктопроводов. -М.: ВНИИОНГ, 1966.-58 с.
- Бородавкин П.П., Березин В.Л., Шадрин О.Б. Подводные трубопроводы. -М.: Недра, 1979.-218 с.
- Буденков Н.А. Анализ точности русловых съемок. -Изв.вузов: Геодезия и аэрофотосъемка, вып.1, 1964, 46с.
- Глотов Г.Ф. Курс инженерной геодезии. -М.: Недра, 1972.-166с.
- Данилов В.В., Хренов Л.С. и др. Геодезия. -М.: Недра, 1974.-404с.
- Закасов П.С. Инженерная геодезия. -М.: Недра, 1976.-596с.
- Игнатов Н.П. Разбивка и восстановление трасс трубопроводов. -Л.: Гостоптехиздат, 1960.-223с.
- Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000 и 1:2000. -М.: Геодезиздат, 1964.

13. Дончук Г.А. Курс инженерной геодезии. - М.: Недра, 1970:400с.
14. Лотц А.Ф. Геодезические работы при изысканиях и строительстве мостовых и туннельных переходов. - М.: Недра, 1966:163с.
15. Мамарович В.С. Расчет точности определения планового положения точек промера глубин по створам подводных переходов магистральных трубопроводов. ИТС Уфимского нефтяного института. Проектирование, строительство и эксплуатация магистральных газонефтепроводов и нефтебаз. - Уфа, 1968:15-20с.
16. Мамарович В.С. Организация геодезических работ на участках строительства подводных переходов магистральных трубопроводов. ИТС Уфимского нефтяного института. Проектирование, строительство и эксплуатация магистральных газонефтепроводов и нефтебаз. - Уфа, 1969, 28-32с.
17. Наставление по изысканиям переходов. - М.: Главтрансprojekt, 1961.
18. Павлов С.Н. Водные изыскания. - М.: Транспорт, 1964:243с.
19. Розенгауз Н.А., Смирнов С.Д. Изыскания магистральных трубопроводов. - Л.: Гостехиздат, 1960:393с.
20. СНиП III-45-75
21. Федоров В.В. Основные методы и точность эксплуатационных изысканий. - М.: ИГ4 СССР, 1947:191с.
22. Федоров В.В. Гидрология и водные изыскания. - М.: Речной транспорт, 1960:189с.
23. Хейфец Б.С., Данилевич Б.Б. Практикум по инженерной геодезии. - М.: Недра, 1979:326с.
24. Чеботарев А.С., Селиханович В.Г., Соколов М.Н. Геодезия, ч. II. - М.: Геодезиздат, 1962:269с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Предварительные изыскания трасс магистральных трубопроводов	4
1.1. Понятие о трассах магистральных трубопроводов.	4
1.2. Общая методика изыскания трасс магистральных трубопроводов	8
1.3. Основная информация о трассе на различных стадиях проектирования	12
1.4. Методы проектирования трасс магистральных трубопроводов	14
1.5. Выбор оптимальных трасс магистральных трубопроводов.	19
2. Состав инженерно-геодезических работ на равнинных стадиях проектирования	29
2.1. Виды планового геодезического обоснования.	30
2.2. Аналитическая сеть	31
2.3. Теодолитные ходы	34
2.4. Геодезическая основа для линейной части трубопровода	35
2.5. Техническая схема импульсного дальномера	39
3. Окончательные изыскания	42
3.1. Разбивочные работы. Подготовка к перенесению объектов генплана на местность.	42
3.2. Графический способ	43
3.3. Аналитический способ	43
3.4. Графоаналитический способ	44
3.5. Основные способы выполнения разбивочных работ в плане и их точность	44
3.6. Ведение пикетажного журнала. Привязка и закрепления трассы	51
3.7. Нивелирование по оси трассы трубопровода для построения профиля	55
3.8. Нивелирование через водоемы и реки	58
3.9. Съемочные работы вдоль трассы	63
3.10. Геодезические и гидрометрические работы на участках переходов через водные препятствия	64
3.11. Картографический и аэрофотосъемочный материал района перехода, его использование	65
3.12. Выбор оптимального створа перехода	67

3.13. Стеночные геодезические работы в районе перехода . . .	70
3.14. Геологические и гидрометрические работы и их привязка	76
3.15. Геодезические работы, выполняемые при изысканиях площадки для головных сооружений, промежуточных станций и площадок пересечений с другими трассами линейных сооружений	84
Приложение	90
Литература	93

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

УФИМСКИЙ НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ

Лев Алексеевич БАБИН
Фанза Талбутдиновна АХМЕТЗЯНОВА
Виктор Сергеевич МАЛЯРЕВИЧ

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ,
ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ
И ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАСС
МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

У ч е б н о е п о с о б и е

Редактор ЗАЙЦЕВА Л. Н.
Технический редактор ЕЛИСЕЕВА В. Ф.

ПО1513. Подписано в печати 10.07.81.
Формат бумаги 60х84 1/16.
Уч.-изд. листов 5,2.
Печ. листов 6.
Заказ 237 .
Тираж 1000 экз.
П е ч а т ь п л о с к а я .
Бумага оберточная.
Темплан 1981 г., поз. 267.
Цена 25 к.

Ротапринт УНИ.
450062, г. Уфа-62, Космонавтов, 1.