

**Левчук Григорий Павлович, Новак  
Виктор Евгеньевич, Конусов Виктор  
Геннадиевич**

**Прикладная геодезия.  
Основные методы и  
принципы инженерно-  
геодезических работ**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 91  
ББК 26.8  
Л38

Л38 **Левчук Григорий Павлович**  
Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ / Левчук Григорий Павлович, Новак Виктор Евгеньевич, Конусов Виктор Геннадиевич – М.: Книга по Требованию, 2013. – 438 с.

**ISBN 978-5-458-29490-4**

Излагаются общие принципы прикладной геодезии и методы инженерно-геодезических работ: построение инженерно-геодезических опорных сетей, топографо-геодезические изыскания, разбивочные работы, наблюдения за деформациями сооружений. Дается обоснование расчетов точности выполнения геодезических работ. Приводится описание специальных приборов. Особое внимание обращено на современные методы производства крупномасштабных съемок, трассирования линейных сооружений, перенесения элементов проекта в натуру, выверки конструкций, исполнительных съемок. Предназначен для студентов геодезических вузов. Может служить руководством для производственников, выполняющих инженерно-геодезические работы.

**ISBN 978-5-458-29490-4**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

[www.samizday.ru/reprint](http://www.samizday.ru/reprint)



тельную технику, внедряют лазерные приборы, автоматизированные системы.

Составными частями прикладной геодезии являются:

- 1) топографо-геодезические изыскания площадок и трасс;
- 2) инженерно-геодезическое проектирование сооружений;
- 3) геодезические разбивочные работы;
- 4) геодезическая выверка конструкций и технологического оборудования;
- 5) наблюдения за деформациями сооружений и их оснований.

Каждая из этих частей связана с определенными этапами инженерно-строительного процесса и отличается решаемыми задачами и точностью измерений.

Топографо-геодезические изыскания — наиболее известный вид работ. Он включает построение на площадке плановых и высотных опорных сетей; крупномасштабную топографическую съемку площадок; трассирование линейных сооружений; геодезическую привязку геологических выработок, гидрологических створов, точек геофизической разведки и др.

Топографо-геодезические изыскания служат основой для проектирования сооружений и проведения других видов изысканий и обследований. Широкое развитие здесь получают методы аэроизысканий.

Инженерно-геодезическое проектирование входит в комплекс работ по разработке проекта сооружения и состоит из составления топографической основы в виде планов и профилей в необходимых масштабах; разработки генеральных планов сооружений; геодезической подготовки проекта для вынесения его в натуру, решения задач горизонтальной и вертикальной планировки, подсчета площадей и объемов и др.

Разбивка сооружений является основным видом геодезических работ при вынесении проекта в натуру. Как правило, этот вид работ требует более высокой точности геодезической основы и более тщательных геодезических измерений, чем съемочные работы. В состав разбивочных работ входят построение разбивочной основы в виде триангуляции, полигонометрии, строительной сетки, трилатерации; вынесение в натуру от разбивочной основы главных осей сооружений, детальная разбивка для строительства фундаментов, подземных коммуникаций, зданий.

Геодезическая выверка конструкций и технологического оборудования, выполняемая в плане, по высоте и по вертикали, является наиболее точным видом инженерно-геодезических работ, осуществляемых специально разработанными методами и приборами. Это наиболее развивающаяся часть прикладной геодезии, в которой широко внедряются новые методы измерений и автоматизированные приборы.

Наблюдения за деформациями сооружений выполняются высокоточными геодезическими методами и включают измерение осадок оснований и фундаментов; определение плановых смещений сооружений; установление кренов (наклонов) высотных зданий, башен, труб.

Наблюдения за деформациями сооружений преследуют как научные цели (обоснование правильности теоретических расчетов устойчивости сооружений), так и производственно-технические (нормальная эксплуатация сооружения и принятие профилактических мер при выявленных недопустимых величинах деформаций).

Программа курса прикладной геодезии охватывает изучение общих принципов и методов инженерно-геодезических работ по ее составным частям и методов производства детальных геодезических работ при строительстве транспортных, промышленно-гражданских, гидротехнических, подземных и прецизионных инженерных сооружений.

Основными научно-техническими задачами прикладной геодезии являются:

1) создание научно обоснованных схем и программ оптимальных геодезических построений для основных типов инженерных сооружений;

2) разработка наиболее эффективных методов и геодезических приборов для изыскания, разбивки и выверки инженерных сооружений, основанных на новейших достижениях науки и техники;

3) обобщение отечественного и зарубежного опыта геодезических работ, накопленного при возведении крупных инженерных сооружений.

## **§ 2. ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ**

Инженерно-геодезические работы выполняются в соответствии с требованиями проектирования отдельных видов сооружений и вынесения их проекта в натуру. Так, при проектировании гидротехнических сооружений важнейшее значение имеет детальность и точность изображения рельефа местности. Поэтому при топографической съемке таких территорий принимают сечение рельефа горизонталями через 0,5—1 м независимо от масштаба плана. При съемке городов и населенных пунктов важную роль играют капитальные сооружения, которые являются опорными при разработке генеральных планов. Поэтому независимо от метода съемки координаты этих сооружений определяются аналитически.

Так как инженерно-геодезические измерения обеспечивают геометрию возводимого сооружения, они должны быть редуцированы на поверхность относимости, совпадающую со средним

уровнем строительной площадки или с наиболее ответственной плоскостью сооружения (а не на поверхность референц-эллипсоида).

В инженерно-геодезических работах соблюдается принцип «от общего к частному». Однако требования к точности измерений здесь возрастают в обратном направлении по сравнению с общегеодезическими. Так как для сооружения наиболее важно сохранить взаимную технологическую связь элементов, а общее положение сооружения и его ориентировка могут быть определены с меньшей точностью, то детальная разбивка осей («частное») должна быть выполнена значительно точнее, чем вынос в натуру главных осей сооружения («общее») от пунктов геодезической основы.

Геодезические разбивочные сети обычно стремятся строить в виде правильных фигур с точной установкой (редуцированием) пунктов в проектное положение, применяя частную систему координат, в которой ось абсцисс была бы совмещена с главной осью сооружения. При этом в зависимости от типа сооружения требования к продольным и поперечным сдвигам в геодезических сетях могут быть различны. Например, в прямолинейных туннелях продольный сдвиг пунктов мало влияет на величину сбойки встречных выработок, и все расчеты точности наземного и подземного геодезического обоснований ведут по допустимому значению поперечного сдвига сетей. В мостовых сооружениях, наоборот, главное внимание уделяют обеспечению длины пролетов, т. е. продольному сдвигу пунктов.

При построении инженерно-геодезических сетей весьма важную роль играет точность взаимного положения пунктов, от которых производится вынос проекта сооружения в натуру, и анализ влияния при разбивках ошибок исходных данных. При выполнении инженерно-геодезических работ расчет их точности производят с учетом действия ошибок по заданным направлениям. При уравнивании сетей могут возникнуть задачи определения с наибольшей надежностью только тех элементов сети, которые определяют точность разбивочных работ и др.

Инженерно-геодезические работы для каждого вида измерений и типа сооружения имеют свои особенности, что требует от исполнителя глубокого знания теории построения, уравнивания и оценки точности геодезических построений, известного опыта в проведении изыскательских и разбивочных работ.

### **§ 3. СВЯЗЬ КУРСА ПРИКЛАДНОЙ ГЕОДЕЗИИ С ДРУГИМИ ПРЕДМЕТАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Современные инженерно-геодезические работы требуют специалиста широкого профиля, глубоко владеющего теорией и практикой геодезической и фотограмметрической наук и имею-

щего общие знания о проектировании и строительстве сооружений. Специалист должен уметь правильно рассчитать для заданного типа сооружения необходимую точность измерений, составить обоснованный проект производства геодезических работ и непосредственно выполнить эти работы на всех стадиях осуществления проекта.

Курс прикладной геодезии базируется на теоретических и практических положениях геодезии, высшей геодезии, фотограмметрии, математической обработки результатов геодезических измерений. Овладение основами этих наук является обязательной предпосылкой изучения прикладной геодезии.

Инженерно-геодезические работы также связаны с астрономией, гравиметрией, картографией. В прикладной геодезии используют электрооптические методы измерений, вычислительную технику и программирование. Знание основ этих предметов имеет важное значение для формирования профиля специалиста.

Для разработки обоснованных проектов инженерно-геодезических работ и достоверного анализа результатов натурных наблюдений важное значение имеет изучение основ инженерной геологии и гидрологии, технологии строительства и проектирования сооружений, образующих единый инженерный комплекс.

Для перспективного развития прикладной геодезии особую роль играет ее тесная связь с предметом «Автоматизация высокоточных инженерно-геодезических измерений».

#### **§ 4. ОЧЕРК РАЗВИТИЯ ПРИКЛАДНОЙ ГЕОДЕЗИИ И ЕЕ РОЛЬ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Как известно, геодезия возникла в древние времена как прикладная инженерная наука. С ее помощью построены уникальные древние сооружения: пирамиды, храмы, маяки, высота которых достигала 150—200 м; гидротехнические устройства, туннели, капитальные дороги большой протяженности; античные здания и строения, поражающие и сейчас смелостью замысла и грандиозностью исполнения.

Эти сооружения свидетельствуют о достаточно высоком уровне разбивочных и трассировочных работ того времени. Древние зодчие умели разбивать прямые, круговые кривые и их сочетание, строить прямые углы, передавать высотные отметки и задавать уклоны, выверять вертикальность сооружений, производить трассирование, обеспечивать сбойки туннелей. По современным исследованиям сохранившихся сооружений, линейные измерения в те времена выполнялись с относительной ошибкой  $1/2000$ — $1/3000$ , угловые 2—4', высотные 1—2 см. Такое состояние разбивочных работ сохранилось почти до XIX в.



Дальнейшее развитие инженерно-геодезические работы получили в XIX в. в связи с промышленной революцией. Большой объем дорожного строительства, возведение туннелей и судоходных каналов потребовали разработки особых методов изысканий и разбивки этих сооружений. Наибольшие трудности вызывали так называемые сбойки встречных туннелей, требовавшие особых методов ориентирования подземной геодезической основы и подземных разбивочных работ. Эти методы выделились в особую, горную геодезию (маркшейдерия).

Изыскания линейных сооружений требовали выполнения съемочных работ на больших территориях, в связи с чем встала задача развития больших геодезических опорных сетей, их строгого уравнивания и оценки точности. Для проложения туннелей через горные массивы (Альпы и др.) строились высокоточные сети с учетом уклонов отвесных линий и влияния рефракции.

С увеличением скорости движения усложнилась геометрия дорожных трасс. Они начали проектироваться в виде пространственных кривых двойкой кривизны, состоящих в плане и профиле из прямых, круговых и переходных кривых, и требовали более точных разбивочных работ. Хотя изыскательские и разбивочные работы выполнялись в основном горными инженерами, путейцами и гидротехниками, однако для больших съемочных работ и разбивки сложных сооружений приглашались инженеры-геодезисты. В этот период начали разрабатываться научные основы прикладной геодезии.

Строительство в СССР гидротехнических, транспортных и промышленных комплексов потребовало решения сложных вопросов по проектированию разбивочной основы и разработке методов вынесения проектов в натуру, которые не могли быть решены инженерами строительного профиля. Необходимо было участие в этих работах опытных геодезистов.

В 1922 г. в Московском межевом институте по инициативе проф. А. Н. Ширяева создается специальность «Приложение геодезии в инженерном деле», преобразованная в 1928 г. в «Геодезическо-планировочную». Обе эти специальности сыграли важную роль в подготовке геодезических кадров для развернувшегося большого строительства в годы первых пятилеток.

Вся тяжесть геодезического обеспечения проектно-изыскательских и строительных работ в стране в эти годы легла на плечи преподавателей, выпускников и студентов единственного тогда Московского геодезического института, созданного в 1930 г. на базе межевого института и преобразованного затем в МИИГАиК.

Эти кадры освоили специфику инженерно-геодезических работ и успешно справились с изысканиями и разбивками таких сложных сооружений, как ДнепроГЭС, СвирьГЭС, Урало-Куз-

нецкий комбинат, Московский метрополитен, канал им. Москвы и др. В железнодорожные и гидротехнические изыскания начали внедрять методы аэрофотосъемки.

На основе опыта работ того времени и теоретических расчетов были разработаны схемы построения и способы уравнивания городских и туннельных триангуляций, геодезических строительных сеток, методы расчета сбоек туннелей, разбивки гидроузлов, мостов и других сооружений.

Быстрому развитию инженерно-геодезических работ в стране способствовали труды виднейших советских ученых: Ф. Н. Красовского, А. С. Чеботарева, В. В. Данилова и непосредственное участие их в разработке проектов геодезического обоснования важнейших сооружений.

К началу Великой Отечественной войны в стране был накоплен богатый опыт инженерно-геодезических работ, который был умножен в суровые годы войны и в послевоенный период. Этот опыт обобщен в таких капитальных работах, как: «Геодезия», т. VIII, под ред. М. Д. Бонч-Бруевича (1941), «Геодезия в городском строительстве», т. I и II, под ред. Н. Н. Степанова (1950), «Геодезия в тоннелестроении», т. I и II, под ред. А. Н. Баранова (1952—1953), «Разбивка крупных сооружений» А. Ф. Люца (1952).

В 1948 г. в составе геодезического факультета МИИГАиК организуется инженерно-геодезическая специальность, которая затем создается в Новосибирском институте инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии, Львовском политехническом институте, Киевском инженерно-строительном институте, Ленинградском горном институте и др. На профилирующих кафедрах этой специальности разрабатывают наиболее актуальные вопросы прикладной геодезии, издают учебные пособия и учебники по курсу, пишут монографии.

Большая заслуга в организации кафедр прикладной геодезии и развитии инженерно-геодезической специальности принадлежит М. С. Муравьеву.

В 1950 гг. начинается дальнейшее бурное развитие инженерно-геодезических работ, вызванное влиянием современной научно-технической революции. Возводятся сложнейшие прецизионные сооружения, большие комплексные пространственные системы, возможность высокоточной установки и выверки которых закладывают в проекте сооружения, его геодезической подготовке. Внедряются автоматизированные системы проектирования на базе ЭВМ, требующие представления топографической информации в виде цифровой модели местности и автоматизации измерений. Разрабатываются новые методы измерений для наблюдений за деформациями сооружений, геодезической выверки автоматических линий, проектирования и строительства высоконапорных плотин ГЭС, прецизионных сооружений типа Большого Серпуховского ускорителя.

В современных условиях роль инженерной геодезии в научных исследованиях и строительном производстве резко возрастает. Механизация многоэтажного строительства и автоматизация технологического производства требуют значительного повышения точности геодезических измерений. Научные исследования в аэродинамике больших скоростей, строительство больших ускорителей ядерных частиц, юстировка радиоантенных комплексов вызывают необходимость применения особо точных геодезических приборов, обеспечивающих измерения с точностью в десятые и сотые доли миллиметра.

Широкое применение получают аэроизыскания линейных сооружений и фотограмметрические методы измерений динамических процессов.

Главнейшей задачей дальнейшего развития инженерно-геодезических работ является автоматизация высокоточных измерений, применение для точной установки и выверки конструкций и агрегатов новейших достижений электроники и лазерной техники.

# РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

## ОПОРНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

---

### ГЛАВА I

#### ПЛАНОВЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

##### § 5. НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ СЕТЕЙ, ТРЕБОВАНИЯ К ИХ ТОЧНОСТИ

Инженерно-геодезические плановые и высотные сети создаются на территориях городов, крупных промышленных, энергетических, горнодобывающих объектов и служат геодезической основой для выполнения комплекса проектно-изыскательских и строительных работ. Плановые инженерно-геодезические сети формируются в виде триангуляционных, полигонометрических, линейно-угловых, трилатерационных построений и геодезических строительных сеток.

Требования к точности, плотности, стабильности плановых инженерно-геодезических сетей чрезвычайно разнообразны. Это обуславливается разнообразием тех задач, которые решаются при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений. Как правило, инженерно-геодезические сети проектируются с учетом возможности их последующего сгущения и развития для обеспечения основных разбивочных работ и топографической съемки в масштабе 1:500. Однако в зависимости от назначения и размеров сооружения, физико-географических условий района работ сфера использования этих сетей может существенно расширяться. При построении инженерно-геодезических сетей используются государственные опорные сети.

Развитие государственной геодезической сети ведется, как правило, по принципу перехода от общего к частному. Государственная плановая геодезическая сеть подразделяется на 1, 2, 3 и 4 классы, различающиеся между собой точностью измерения углов и расстояний, длиной сторон сети и порядком последовательного развития.

Точность плановой государственной сети рассчитана на обеспечение в единой системе координат съемочных работ в крупных масштабах.

Техническая характеристика сетей триангуляции 2—4 классов приведена в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1

Показатели	Классы триангуляции		
	2	3	4
Длины сторон триангуляции, км	7—20	5—8	2—5
Относительная ошибка базисной (выходной) стороны	1 : 300 000	1 : 200 000	1 : 200 000
Относительная ошибка стороны в наиболее слабом месте	1 : 200 000	1 : 120 000	1 : 70 000
Минимальное значение угла в треугольнике	30°	20°	20°
Допустимая угловая невязка в треугольниках	4"	6"	8"
Средняя квадратическая ошибка угла (по невязкам в треугольниках)	1"	1,5"	2"

Характеристика сетей полигонометрии 4 класса дана ниже.

Предельная длина хода, км:	
отдельного . . . . .	10
между исходным пунктом и узловой точкой . . . . .	7
между узловыми точками . . . . .	5
Предельный периметр полигона, км . . . . .	30
Длины сторон хода, км:	
наибольшая . . . . .	2,00
наименьшая . . . . .	0,25
оптимальная . . . . .	0,50
Число сторон в ходе, не более . . . . .	15
Допустимая относительная невязка, не более . . . . .	1 : 25 000
Средняя квадратическая ошибка измерения угла (по невязкам) в ходах и полигонах, не более . . . . .	2"
Допустимая угловая невязка хода или полигона, не более . . . . .	5" $\sqrt{n}$ ,
где $n$ — число углов.	

Государственные сети геодезического планового обоснования дополняются сетями сгущения, представленными полигонометрией и триангуляцией 1 и 2 разрядов.

Необходимость в построении инженерно-геодезических сетей возникает при изысканиях площадок и проектировании сооружений, составлении генеральных планов городов и поселков, разработке технических проектов и рабочих чертежей промышленных, гидротехнических, транспортных сооружений и горнодобывающих предприятий и др. Проектирование ведется на планах крупных масштабов. Наиболее высокие требования к точности геодезических сетей предъявляются при производстве съемок масштабов 1 : 1000; 1 : 500.

Исходными для расчета точности плановых геодезических сетей, предназначенных для обоснования топографических съемок, являются требования к точности съемочных сетей: предельные ошибки положения пунктов уравниваемого съемочного обоснования относительно пунктов государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения не должны

превышать на открытой местности и застроенных территориях 0,2 мм в масштабе плана. На застроенных территориях ошибки в координатах пунктов съёмочного обоснования не должны превышать величин, приведенных ниже.

Масштаб плана . . . . .	1 : 500	1 : 1000	1 : 2000
Предельные ошибки координат, м . . . . .	0,10	0,16	0,30

Опорные геодезические сети, создаваемые на территориях городов, крупных промышленных, энергетических и других объектов, используются также для производства разбивочных работ и обеспечения нормальной эксплуатации сооружений.

При расчетах точности инженерно-геодезических сетей в этом случае следует различать два основных варианта использования сетей в зависимости от уровня требований к точности геодезических работ.

Во-первых, требования к точности разбивочной основы могут быть примерно одного порядка с точностью съёмочного обоснования. В этом случае опорная геодезическая сеть развивается по принципу от общего к частному с использованием сетей старших классов и разрядов в качестве исходной основы с жесткой привязкой к их сторонам и пунктам сетей младших классов.

Во-вторых, требования к точности разбивочных работ могут быть существенно выше точности топографических работ. В таком случае создаются специальные опорные геодезические сети. При построении локальных сетей пункты старших классов используются только для передачи ориентирования на одну из сторон сети и координат — на один из пунктов этой сети.

При построении специальных геодезических сетей их точность и плотность могут существенно меняться при переходе от одного этапа строительства сооружений к другому. Так, например, при возведении гидроузла на стадии изысканий геодезическая сеть строится из расчета на удовлетворение требований съёмочных работ, на стадии строительства — на удовлетворение требований к точности разбивочных работ, в период эксплуатации сооружения — на удовлетворение требований к точности работ, выполняемых при наблюдениях за осадками и деформациями основных сооружений гидроузла. При этом требования к точности геодезических измерений возрастают от этапа к этапу. Динамика развития сетей при строительстве крупных объектов требует нестандартного подхода к организации геодезических работ и расчетам точности, направленного на максимальное использование результатов ранее выполненных геодезических работ при переходе к обеспечению следующего этапа строительства сооружения.

Ниже рассмотрены особенности построения инженерно-геодезических сетей на территориях городов, гидроузлов и других объектов.