

## **ВВЕДЕНИЕ**

Современные маркшейдерские и геодезические приборы являются сложными оптико-механическими и электронными приборами. В настоящее время выпускается множество этих приборов, предназначенных для решения практических и научных задач. Целью изучения дисциплины является ознакомление студентов, обучающихся по специальности 21.05.04 «Горное дело» специализация «Маркшейдерское дело», с основными видами и конструкцией маркшейдерских и геодезических приборов. Задачи дисциплины: изучить принципиальное устройство маркшейдерско-геодезических приборов, знать их основные технические характеристики, уметь правильно применять их, юстировать и проверять, устранять мелкие неисправности, производить техническое обслуживание, обеспечивать метрологическую проверку приборов.

Особенностью преподавания курса «Маркшейдерские и геодезические приборы» является тесная связь лекционных занятий с лабораторными, на которых изучается детальное устройство приборов и их обслуживание.

Учебное пособие соответствует учебной программе курса и предназначено для студентов, обучающихся по специальностям «Маркшейдерское дело» и «Инженерная геодезия».

Маркшейдерское дело и геодезия — это, прежде всего, наука о способах измерений и съемок на земной поверхности и горных выработках с целью составления их графического изображения — планов. Чтобы быстро и качественно получить графические материалы, необходимо «вооружить» маркшейдера приборами, предназначенными для этих целей.

Маркшейдерские и геодезические приборы (МГП) — прикладная техническая дисциплина, изучающая их теорию, устройство, принцип действия и методы исследований, правила обращения с приборами и ухода за ними.

Согласно ГОСТу на термины в геодезии и маркшейдерском деле необходимо применять термин «приборы» (недопустимо применение термина «инструменты»). В маркшейдерском деле и геодезии для съемок используют самые разные приборы, как по их назначению, так и устройству.

В связи с совершенствованием технологии ведения горных работ характер маркшейдерских работ также меняется. Какие основные факторы влияют на маркшейдерские работы и как учитываются эти факторы при выполнении съемок?

1. Увеличение производительности труда при проведении горных выработок и при ведении очистных работ послужило развитию лазерных указателей направлений (ЛУН) для управления проходческими комбайнами и комплексами.

2. Понижение горизонта горных работ (ориентирование возможно только с помощью гирокопического ориентирования).

3. Удаленность горных работ от вскрывающих выработок (применение электронных приборов и гирокопического ориентирования).

4. Увеличение протяженности выработок (тоннели до 50 км и более) применение гирокопического ориентирования и электронных приборов.

5. Появление новых способов и технологий проходки горных выработок (безлюдная проходка тоннелей).

6. Повышение требований органов Ростехнадзора за полнотой извлечения полезных ископаемых (съемка недоступных горных выработок, безотражательные тахеометры, лазерные сканирующие системы (ЛСС)).

7. Обеспечение безопасности ведения горных работ.

8. Появление новых приборов и методов (ЛСС).

Предмет «Маркшейдерские и геодезические приборы» тесно связан с геодезией и маркшейдерским делом (требования к точности, условиям работы, производительности при съемках), физикой (лазеры, теория гирокопического ориентирования), электроникой (электронные тахеометры, ГНСС), материаловедением, приборостроением и другими науками.

В свою очередь, в маркшейдерском деле при выборе методов измерений, проектирования и организации маркшейдерских работ опираются на достижения маркшейдерско-геодезического приборостроения.

Инженер-маркшейдер должен хорошо знать МГП, включая и зарубежные, чтобы уметь правильно их выбирать и использовать, устранять в случае необходимости мелкие неисправности, уметь юстировать и исследовать эти приборы.

В последние годы в области МГП происходят очень быстрые положительные изменения. Появляются все новые и новые разработки и приборы, которые могут в корне изменить методику маркшейдерских работ, как при подземной разработке МПИ, так и при открытом способе разработки.

К МГП предъявляется ряд требований, которые должны быть выполнены при проектировании и изготовлении приборов. Приборы

должны быть, прежде всего, малогабаритными и обладать небольшой массой. Чаще всего приборы до места работы переносятся вручную. Они должны обладать высокой степенью защиты от влаги и пыли (IP67, например), обладать удобными рукоятками управления, содержать элементы автоматизации. Для подземных съемок очень часто требуются приборы во взрывобезопасном исполнении (Маркировка взрывобезопасного оборудования по ГОСТ Р 51330.0-99). Общие технические требования к приборам определяются ГОСТ 53340-2009.

Для маркшейдерско-геодезических измерений решающее значение имеет достоверность результатов измерений приборами. Достоверность и сопоставимость результатов измерений обеспечиваются единством мер и измерений или соответствующим метрологическим обеспечением.

# **1. КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗВИТИИ МГП**

Простейшие геодезические приборы применялись еще в XII–XIII вв. при строительстве оросительных каналов и других сооружений.

Однако история этих приборов началась еще в глубокой древности. При строительстве каналов в Древнем Египте применяли желоб с водой в качестве нивелира. В Древнем Риме использовали «карабас» — устройство для строительства водоводов, каналов, виадуков. Длина карабаса 10 м (похож на стол). Имелся отвес. В зависимости от положения отвеса (была шкала на стойке) определялся уклон.

II в. до н. э. — Герон Александрийский в работе «О диоптриях» дал описание простейших инструментов.

X в. — багдатский астроном Худжанди изобрел секстант.

1606 г. — голландский мастер очков И. Липпергейм — «прибор для рассматривания далей». Хранил секрет, но Г. Галилей (1564–1642) узнал об этом и в 1609 г. изготовил зрительную трубу. Труба с выпуклым объективом и вогнутым окуляром давала 3-кратное увеличение. Вскоре построил телескоп с 32-кратным увеличением.

1609 г. — изобретен микроскоп.

1611 г. — И. Кеплер построил зрительную трубу с сеткой нитей.

Математик Эйлер выполнил расчет ахроматических объективов.

М. В. Ломоносов (1711–1765) — приборы морской астрономии, подвесная буссоль.

1620 г. — голландец П. Вернье изобрел применяемый и в наши дни принцип нониуса.

1662 г. — французский механик М. Тевено изготовил цилиндрический уровень.

Круглый уровень был изготовлен Майером в 1770 г.

Первый теодолит, принципиально похожий на современный, был создан в 1730 г. английским механиком Д. Сиссоном. В 1783 г. он был усовершенствован Д. Рамденом, установившим микроскоп и окуляр (данным теодолитом была соединена триангуляция Гринвича и Парижа), и Т. Рейхенбахом, в 1812 г. применившим дальномерные нити и повторительную осевую систему.

1674 г. — итальянец Монтанари применил в зрительной трубе дальномерные нити.

1840 г. — К. Гаусс в диоптрических исследованиях заложил основу теории построения изображения в системе линз.

1857 г. — нивелир с перекладной трубой.

С 1816 по 1855 г. русские военные геодезисты К. И. Теннер (1789–1860) и В. Я. Струве (1793–1864) проводили градусные измерения от Северного Ледовитого океана до Дуная (приблизительно 3000 км). К. Теннер — создание базисного прибора с погрешностью 1:300 000.

В 1847 г. — проф. Петербургского корпуса горных инженеров П. А. Олышев издал учебник, в котором он описывает горный теодолит и метод теодолитной съемки подземных работ. Это случилось за 4 года до появления аналогичных описаний в книге проф. Ю. Вейсбаха, которому приписываются внедрение теодолитов для подземных съемок.

1850 г. — русский механик П. А. Зарубин создал планиметр.

1865 г. — француз Санге — редуцирование наклонных расстояний механическим путем.

1888 г. — проволочный базисный прибор Э. Едерина (шведский геодезист 1852–1923 гг.) вытеснил жезловый прибор. В этот год был измерен Пулковский базис.

1890 г. — русский военный геодезист Д. Д. Гедеонов (1854–1908) — высокоточный нивелир с уровнем при трубе.

1896 г. — немецкий профессор Гаммер — номограммные тахеометры.

Большой вклад в развитие геодезических приборов внес швейцарский ученый и организатор оптико-механического производства Генрих Вильд (1877–1951). Г. Вильду принадлежат такие изобретения, как внутренняя фокусировка зрительных труб (1908), контактное устройство к уровням вертикального круга, оптический микрометр с плоскопараллельными пластинками (1928), оси на шарикоподшипниках, горизонтирующее кулачковое устройство (1937) и др.

В 1910–1912 гг. началась разработка первого теодолита повторительного типа на фирме «К. Цейс» (теодолит Th-II).

Первый оптический теодолит марки Th-I с оптическим микрометром, работавшим по принципу совмещенного отсчета, был выпущен в 1922 г. фирмой «Карл Цейсс» (Германия). Однако идея применения в теодолитах стеклянных лимбов принадлежит чехам Иозефу и Яну Фрич (Прага), которые реализовали ее в горном теодолите еще в 1886 г.

1922 г. — К. Цейсс — первый оптический теодолит со стеклянным кругом.

- До 1910 г. Россия не производила геодезические приборы.
- 1910–1913 гг. — первые 2000 теодолитов отечественного производства.
- 1918 г. — организуется Государственный оптический институт (ГОИ).
- 1919–1926 гг. — освоено отечественное производство оптического стекла.
- 1923 г. — заводы «Геофизик» и «Геодезия».
- 1936 г. — в ГОИ под руководством А. А. Лебедева создан первый светодальномер (до 4 км с погрешностью 1/2000).
- 1938 г. — прекращен ввоз импортных точных и высокоточных приборов.
- 1947 г. — первый промышленный светодальномер фирмы AGA, Швеция.
- 1950 г. — первый нивелир с компенсатором фирмы Оптон (Цейсс).
- 1950 г. — первые маркшейдерские гирокомпасы.
- 1965 г. — первые лазерные визиры.
- 1976 г. — первые промышленные электронные тахеометры.
- Начало 1990-х гг. — ГНСС.
- 2000 г. — лазерные сканирующие системы.

## **2. ОСНОВЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ**

Построение оптических систем геодезических приборов основывается на законах и понятиях геометрической и физической оптики. С точки зрения физической оптики свет по своей сущности, представляет единство двух процессов — волнового и квантового. Такие явления, как интерференция, дифракция и поляризация могут быть объяснены только волновой природой света, а фотоэлектрический эффект, излучение и поглощение — квантовой теорией. Явления отражения, преломления и давления света легко объясняются как волновой, так и квантовой теориями. Поскольку некоторые из названных явлений широко используются в геодезических измерениях, при создании, например, лазерных геодезических приборов, фотоэлектрических устройств, интерферометров и дифракционных приборов необходимо учитывать понятия и законы физической оптики.

Вместе с тем построение оптических систем зрительных труб, отсчетных устройств оптических теодолитов, контактных уровней нивелиров и других конструктивных элементов наиболее распространенных геодезических приборов может быть основано на упрощенных представлениях природы света и его распространения в пространстве, т. е. на понятиях и законах геометрической оптики.

### **2.1. Оптические стекла и их характеристики**

При расчете оптических систем стекло рассматривается как вполне физически однородная среда. Однако изготовить такое стекло практически почти невозможно. Поэтому оптическим стеклом принято называть стекло, однородность которого по показателю преломления не выходит за пределы определенной допустимой величины. Техническими характеристиками однородности являются: угол разрешения, двойное лучепреломление и свильность заготовки оптического стекла. Свильностью называют изменение нормального строения стекла. Представляет собой стеклообразное нитевидное или слоистое включение в основной массе стекла. Свильность возникает, в частности, из-за падения со свода печи образовавшихся там капель стекла иного состава.

Показатель преломления стекла зависит не только от его состава, но и цвета луча, проходящего через него. Белый свет является сложным, состоящим из лучей различных цветов, из которых каждый имеет свой показатель преломления. Показатель преломления окрашенных лучей возрастает от красного цвета к фиолетовому.

По своим оптическим постоянным стекло подразделяется на марки. Существует весьма большое количество сортов оптических стекол разных марок, количество которых превышает 80. Однако практически при расчете большей части оптических систем ограничиваются значительно меньшим количеством сортов стекол.

Оптические стекла обладают неодинаковой химической устойчивостью по отношению к окружающей их в процессе эксплуатации среде. С течением времени под воздействием слабокислых водных растворов и находящихся в воздухе водяных паров наблюдается частичное разрушение поверхностного слоя стекла. Степень и характер поверхностного разрушения стекол в основном зависят от их химического состава. Так, например, стекла, богатые щелочами, разрушаются сильнее. Внешне эти разрушения проявляются в виде радиально окрашенных пятен и кристаллических налетов на полированной поверхности стекла.

В настоящее время химическую устойчивость силикатных оптических стекол характеризуют химической устойчивостью к воздействию влажного воздуха и химической устойчивостью к воздействию слабокислых водных растворов. Первый фактор характеризуют временем в сутках, которое необходимо для образования на полированной поверхности образца стекла капельного не жирового налета, видимого при боковом освещении при увеличении  $80^\times$ . Образец при испытании выдерживают в атмосфере 100%-ной относительной влажности при температуре  $20^\circ\text{C}$ . Второй фактор характеризуется временем в часах, которое необходимо для образования на полированной поверхности образца стекла прозрачной пленки толщиной 135 мкм. Пленка такой толщины при наблюдении в отраженном свете кажется окрашенной в фиолетово-коричневый цвет. При испытании образец помещают в раствор уксусной кислоты с температурой  $80^\circ\text{C}$ .

Особенно опасно появление на стекле налетов. Налеты на оптических деталях, расположенных в плоскости изображения оптической системы (например, на сетках), выводят приборы из строя. Поэтому для таких деталей применяют стекла с высокими показателями химической устойчивости.

К неизбежным дефектам стекла относятся неоднородность по показателю преломления, т. е. предельный угол разрешения, двойное лучепреломление, свильность, а также посторонние включения (пузырьки). Перечисленные дефекты характеризуют не марку стекла, а лишь отдельные заготовки. Допустимая величина того или иного дефекта заготовок зависит от назначения оптических деталей, кото-

рые должны быть изготовлены из этих заготовок. Поэтому условия поставки оптического стекла предусматривают деление его на категории по каждому из перечисленных пороков.

Для оптических приборов применяются специальные оптические стекла, которые характеризуются показателем преломления и дисперсией для лучей света, дающих следующие спектральные линии:

- желтую линию натрия, совпадающую с линией *D* Фраунгофера<sup>1</sup> в спектре поглощения от лучей солнца;
  - три яркие линии водорода, из которых две совпадают с линиями *F* и *C* Фраунгофера<sup>2</sup>.
- В справочниках оптических стекол обычно даются:
- средний показатель преломления  $n_D$  для линии *D* спектра;
  - средняя дисперсия  $dn = n_F - n_C$  для линий *F* и *C* спектра;
  - коэффициент дисперсии

$$\gamma = n \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}.$$

Коэффициент дисперсии изменяется от 20 до 70, а показатель преломления — от 1,4 до 1,9.

Оптическое стекло в зависимости от его состава и оптических свойств подразделяется на две основные группы: кроны и фланты, и каждая из них — на подгруппы — марки. Марка стекла обозначается буквой, характеризующей данную подгруппу, которой принадлежит стекло, и порядковым номером стекла (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Примеры марок оптических стекол

Марка стекла	Коэффициент преломления, <i>n</i>	
	1	2
КРОНЫ	K3	1,51
	K8	1,518
Баритовые кроны	BK2	1,515
	BK8	1,54
Тяжелые кроны	TK2	1,57
	TK8	1,61

<sup>1</sup> Йозеф Фраунгофер (1787–1826) — немецкий физик. Наблюдал и впервые объяснил наличие линий поглощения в солнечном спектре.

<sup>2</sup> Фраунгоферовы линии — темные линии в солнечном спектре, возникающие благодаря поглощению солнечного света в атмосфере Солнца.

1	2	
ФЛИНТЫ	Ф1	1,61
	Ф2	1,62
Баритовые флинты	БФ7	1,579
Тяжелые флинты	ТФ1	1,64

Кроновыми называются стекла без содержания в них окиси свинца или с малым содержанием (не более 3%), а флинтовыми — со значительным содержанием окиси свинца.

Оптические стекла характеризуются еще другими показателями качества: коэффициентом светопоглощения, оптической однородностью, пузырностью, двойным лучепреломлением. Кроме этого, стекла характеризуются:

- химическими свойствами: способностью противостоять разрушению водой, растворами кислот и щелочей, газами атмосферы и др.;
- механическими свойствами: плотностью стекла, прочностью, твердостью и хрупкостью; термическими свойствами: коэффициентом линейного расширения, температурным приращением показателя приращения.

## 2.2. Законы геометрической оптики

В современных маркшейдерских и геодезических приборах применяются сложные оптические системы, теория которых опирается главным образом на геометрическую, а в некоторых системах, например для светодальномеров, — и на физическую оптику.

Геометрическая оптика широко используется в теории оптических приборов, она является основой для расчета и проектирования оптических систем маркшейдерских и геодезических приборов. Однако законы геометрической оптики позволяют лишь проще представить принцип действия оптических систем. Правильное же распространение света и происходящие при этом явления отражаются законами физической оптики, учитывающей волновую теорию света.

Физическая оптика изучает природу света, теорию передачи световой энергии и возникающие при этом явления дифракции и интерференции, поглощение света прозрачными средами, поляризацию света и другие явления. Положения физической оптики находят широкое применение в современных маркшейдерских и геодезических приборах, например светодальномерах, лазерных приборах и т. д.

Теория геометрической оптики основывается на следующих законах:

- в изотропной среде свет от светящейся точки распространяется по всем направлениям прямолинейно и с одинаковой скоростью;
- лучи света, проходящие через точку в различных направлениях, распространяются независимо друг от друга;
- закон отражения света;
- закон преломления лучей света на границе двух прозрачных средств;
- принцип обратимости.

### **2.2.1. Закон прямолинейного распространения света**

В однородной и изотропной (обладающей одинаковыми свойствами во всех направлениях) среде свет между двумя точками распространяется по прямой, соединяющей эти точки. Закон не соблюдается, если среда является неоднородной (с различными оптическими свойствами в разных частях пространства), а также вследствие дифракции, когда свет проникает в области геометрической тени.

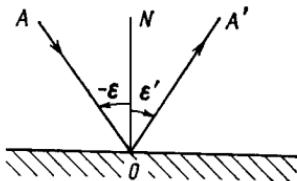
Закон прямолинейного распространения света широко используется при визировании зрительных труб, измерении, например, непрямолинейности относительно оптического створа.

### **2.2.2. Закон независимого распространения света**

Согласно этому закону отдельные лучи, выходящие из различных центров излучения, не влияют друг на друга и распространяются так, как будто других лучей не существует. Если лучи, выходящие из общего центра излучения, приходят в одну точку различными путями, то обнаруживается явление интерференции. Закон не соблюдается также в тех случаях, когда источниками света являются мощные лазеры.

### **2.2.3. Закон отражения света**

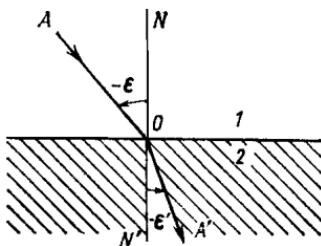
Падающий луч света  $AO$  на зеркальную поверхность (рис. 2.1), нормаль  $NO$  к отражающей поверхности в точке падения  $O$  и отраженный луч  $OA'$  находятся в одной плоскости, а угол падения  $\varepsilon$  равен углу отражения  $\varepsilon'$  по абсолютной величине, но противоположен ему по знаку. Углы  $\varepsilon$  и  $\varepsilon'$  отсчитываются от нормали. В геометрической оптике угол считается положительным, если он направлен по часовой стрелке, отрицательным — против хода часовой стрелки.



**Рис. 2.1**  
Закон отражения

#### 2.2.4. Закон преломления света

Проявляется в тех случаях, когда луч света, распространяющийся в однородной среде с показателем преломления  $n$ , попадает в другую однородную среду с показателем преломления  $n'$  (рис. 2.2).



**Рис. 2.2**  
Закон преломления света

Закон преломления света формулируется следующим образом:

- падающий луч  $OA$ , нормаль  $NO$  к преломляющей поверхности  $PP$  в точке  $O$  и преломленный луч  $OA'$  находятся в одной плоскости;
- оптические инварианты двух сред равны между собой:

$$n \sin \epsilon = n' \sin \epsilon',$$

где  $n \sin \epsilon$  — оптический инвариант среды с показателем преломления  $n$ ;  $n' \sin \epsilon'$  — оптический инвариант среды с показателем преломления  $n'$ .

Закон отражения можно рассматривать как частный случай закона преломления, когда  $n = -n'$  (знак «минус» определяется тем, что скорость распространения луча после его отражения не изменяется по величине, но меняет знак на противоположный).

#### 2.2.5. Явление полного внутреннего отражения

Всякое преломление света сопровождается его частичным отражением. При переходе из более плотной среды в менее плотную падающий пучок лучей может полностью отразиться от разделяющей поверхности (рис. 2.3).

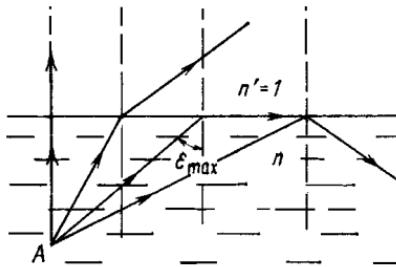


Рис. 2.3

*Явление полного внутреннего отражения*

При определенном значении угла  $\varepsilon' = \varepsilon'_m$  угол  $\varepsilon$  может оказаться равным  $90^\circ$ . Тогда

$$\sin \varepsilon'_m = \frac{n}{n'}, \quad (2.1)$$

где  $\varepsilon'_m$  — предельный угол полного внутреннего отражения. При расчетах оптических систем в большинстве случаев показатель преломления воздуха принимают равным 1. Когда свет переходит из стекла с показателем преломления  $n' = 1,5$  в воздух, то из равенства (2.1) получим

$$\sin \varepsilon'_m = \frac{1}{1,5},$$

откуда  $\varepsilon'_m = 41,8^\circ$ .

Таким образом, лучи, падающие на поверхность раздела «стекло — воздух» под углами более  $42^\circ$ , не испытывают преломления, а отражаются обратно в стекло. Это явление широко используется в геодезических приборах и волоконной оптике. Оно было открыто в 1604 г. И. Кеплером<sup>1</sup> и получило название явления полного внутреннего отражения. На этом явлении основан принцип действия призм полного внутреннего отражения. Явление полного внутреннего отражения используется в волоконной оптике и рефрактометрии.

В маркшейдерско-геодезических приборах применяют разнообразные призмы полного внутреннего отражения. Для достижения большего эффекта отражающие грани таких призм покрывают слоем серебра или алюминия.

<sup>1</sup> Кеплер Иоганн (27.12.1571–15.11.1630) выдающийся немецкий астроном, открывший законы движения планет.

## **Вопросы к главе 2**

1. На каких законах оптики основывается построение оптических систем геодезических приборов?
2. Что должен представлять собой свет с точки зрения физической оптики?
3. Как можно объяснить такие явления, как интерференция, дифракция и поляризация?
4. На какие группы в зависимости от его состава подразделяются оптические стекла?
5. Что определяет технические характеристики оптических стекол?
6. Чем характеризуется однородность стекла?
7. От чего зависит показатель преломления стекла?
8. Чем характеризуются показатели качества стекла?
9. На чем основана теория геометрической оптики?

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)