



Министерство образования и науки РФ  
ФГБОУ ВПО  
"Уральский государственный горный  
университет"

Л. Н. Лукашевич, О. В. Садырева, Л. К. Катанова

# **ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ГОРНОМ ДЕЛЕ**

Часть 3  
Оптика

*Учебно-методическое пособие*  
к лекциям по дисциплине «Физика»  
для преподавателей кафедры физики  
и студентов всех специальностей

Екатеринбург  
2011

Министерство образования и науки РФ  
ФГБОУ ВПО  
"Уральский государственный горный университет"

ОДОБРЕНО  
Методической комиссией  
Института геологии и геофизики  
“ “\_\_\_\_\_ 2011 г.  
Председатель комиссии  
\_\_\_\_\_проф. С. Н. Тагильцев

Л. Н. Лукашевич, О. В. Садырева, Л. К. Катанова

## ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Часть 3  
Оптика

*Учебно-методическое пособие*  
к лекциям по дисциплине «Физика»  
для преподавателей кафедры физики  
и студентов всех специальностей

Рецензент: *Е. В. Коророва*, ст. преподаватель  
кафедры литологии и геологии горючих ископаемых УГГУ

Учебно-методическое пособие рассмотрено на заседании кафедры физики  
15 февраля 2011 г. (протокол № 48) и рекомендовано для издания в УГГУ.

**Лукашевич Л. Н., Садырева О. В., Катанова Л. К.**

Л 84 ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ГОРНОМ ДЕЛЕ. Часть 3.  
Оптика: учебно-методическое пособие к лекциям по дисциплине «Физика» для преподавателей кафедры физики и студентов всех специальностей / Л. Н. Лукашевич, О. В. Садырева, Л. К. Катанова. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. – 26 с.

В пособии приведены примеры использования законов геометрической оптики в маркшейдерско-геодезических инструментах, исследованиях ствола скважины, применение явлений интерференции, дифракции и поляризации в горном деле.

Также приведены примеры применения фотоэлементов, пирометров и других приборов в горной промышленности.

Все разделы составлены совместно с коллективом авторов.

© Лукашевич Л. Н., Садырева О. В.,  
Катанова Л. К., 2011  
© Уральский государственный  
горный университет, 2011

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА И ФОТОМЕТРИЯ.....	4
1.1. Использование закона прямолинейного распространения света при провешивании линий и проведении выработок.....	4
1.2. Применение законов отражения и преломления света.....	5
1.3. Применение световолоконной оптики для скважинных наблюдений...6	
1.4. Применение зрительных труб (теодолитов).....	6
1.5. Фотограмметрическая съемка.....	7
1.6. Фототелевизионные методы исследования ствола скважины.....	8
2. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА.....	9
2.1. Интерферометры в горном деле.....	9
2.2. Дифракция волн.....	11
2.3. Голография.....	11
2.4. Применение поляризованного света.....	12
3. КВАНТОВАЯ ОПТИКА.....	14
3.1. Использование инфракрасного излучения.....	14
3.2. Примеры использования фотоэлементов в горной промышленности... 21	
3.3. Эффект Комптона.....	23
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	24

# 1. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА И ФОТОМЕТРИЯ

## 1.1. Использование закона прямолинейного распространения света при провешивании линий и проведении выработок

Свойство прямолинейности распространения света в однородной среде используется при провешивании прямых линий на поверхности Земли и под Землей. Обозначение линий на местности производится посредством установки вешек в конечных пунктах линий. При значительной длине линий между конечными вешками ставятся промежуточные. Определение на местности точек установки этих промежуточных вешек называется *провешиванием линий*. Маркшейдер становится сзади одной из конечных вешек и, визируя невооруженным глазом, направляет рабочего с промежуточной вешкой по линии, касательной к установленным на конечных пунктах вешкам. Рабочий устанавливает вешку отвесно. Провешивание направления линий производится с помощью отвесов, освещаемых лампами [1].

Все горные выработки должны иметь строго определенное направление. Установить его быстро и без погрешностей помогает прибор — *лазерный указатель*. Этот прибор задает направление горизонтальным и наклонным горным выработкам, его можно использовать для контроля крепления выработок при настиле откаточных путей и монтаже конвейеров, а также для создания прямолинейной базы для выемки угля механизированными очистными комплексами. Малый угол расходимости лазерного луча позволяет производить точную ориентировку в пространстве различных механизмов, применяемых в строительстве наземных сооружений, и при проходке под землей тоннелей шахт и выработок. Исключительная направленность лазерного излучения используется для выверки прямолинейности различных направляющих, создания оптических локаторов и дальномеров, которые успешно применяются в маркшейдерии, инженерной геодезии, на рудниках и шахтах.

## 1.2. Применение законов отражения и преломления света

В маркшейдерско-геодезических приборах применяют отдельные плоские зеркала и их системы для изменения направления луча, оборачивания изображения, параллельного смещения луча, для подсветки шкал, в компенсаторах наклона, для построения прямых и других углов [2].

Плоские зеркала имеют небольшой вес и не искажают изображения, но их сравнительно трудно фиксировать в оптических системах приборов. Применение зеркал связано также с большими потерями света. Поверхность, амальгамированная алюминием, отражает около 95 % света, кроме того, металлические покрытия быстро тускнеют.

Вследствие перечисленных факторов в оптических системах приборов чаще применяют призмы полного внутреннего отражения. По сравнению с плоскими зеркалами призмы имеют следующие преимущества:

- угол между отражающими гранями строго постоянен;
- отражающие поверхности не соприкасаются с воздухом и не подвергаются порче, дают ясные и четкие изображения;
- одна призма может давать многократное отражение луча;
- призмы надежно устанавливаются и фиксируются в приборах, в них отсутствует двоение изображения.

Недостатком таких призм является потеря света в связи с частичным преломлением лучей на отражающих поверхностях. По этой причине отражательные грани, как правило, амальгамируют.

Призмы полного внутреннего отражения используют для разделения поля зрения в оптических дальномерах, микрометрах, для освещения измерительных шкал.

Явление полного внутреннего отражения используется также в волоконной оптике.

### **1.3. Применение световолоконной оптики для скважинных наблюдений**

Представляет большой интерес использование световолоконной оптики для скважинных наблюдений. Вместо обычного электрического кабеля применяют гибкий световод, жилы которого состоят из нескольких сотен нитей оптического стекловолокна.

Круговое изображение стенок скважины через серию объективов подается на торцы волокон. Они передают на поверхность цветное изображение, четкость которого зависит от числа волокон.

Гибкость и прочность волоконного световода не уступает обычному кабелю, что позволяет использовать стандартную спуско-подъемную аппаратуру и лебедки. На поверхности в пульте управления световодные пучки подводятся к видеозкрану [3].

Во многих отраслях промышленности оптическая связь помогает избежать аварий. Поскольку по стекловолоконным линиям передаются не электрические, а световые сигналы, такие провода не искрят, взрывобезопасны. Это открывает широкие перспективы для их использования в химической, угольной, нефтеперерабатывающей промышленности.

Интересно, что стеклопроводы длиной в сотни метров являются сугубо космической продукцией. В орбитальном литейном цехе удается производить тонкие и очень длинные стеклянные нити, которые на Земле неизбежно разрываются от собственной тяжести, не успев затвердеть [4].

### **1.4. Применение зрительных труб (теодолитов)**

В 1611 г. Кеплер предложил два варианта зрительной трубы линзовой конструкции с сеткой нитей: с обратным изображением (астрономическая труба) и с прямым изображением (земная труба).

В XVII веке стало возможным первое практическое применение подобных зрительных труб в измерительных приборах – *теодолитах*.

Угломерные приборы — теодолиты — считаются у геодезистов одним из главных средств производства измерений и изысканий. Теодолиты используются для производства теодолитных съемок при составлении топографических планов. В этом случае измерения теодолитами сочетают с измерениями рулетками, мерными лентами, дальномерами, буссолями.

В некоторых случаях геодезической практики теодолит необходим для разнообразных вспомогательных работ. В топографо-геодезическом производстве теодолит выполняет функции угломерного прибора, высотомера, съемочного и наблюдательного приборов. Теодолиты используются при различного рода инженерно-геодезических изысканиях: строительных, дорожных, гидро-мелиоративных, геологических, лесо- и землеустроительных. Они применяются при трассировании линейных сооружений (линий электропередачи и связи, каналов, трубопроводов, железных и автодорог). С помощью теодолитов проводят наблюдения за деформациями построенных сооружений, взаимным расположением отдельных элементов изделий [5].

### **1.5. Фотограмметрическая съемка**

Воздушная фотограмметрическая съемка или аэросъемка является современным методом определения формы, размеров и положения объектов в пространстве по их фотографическим изображениям.

Применительно к горному делу аэросъемка позволяет составлять фотопланы, карты горнопромышленных районов и маркшейдерские планы горных разработок, карьеров, дражных участков и др. [6].

Аэросъемка обеспечивает получение широкой и наглядной информации о местности и горных объектах, необходимой для планирования горных работ и управления ими. Поэтому она является наиболее перспективным методом для маркшейдерско-геологического обеспечения открытых горных работ.



Основным документом метода служит аэрофотоснимок, полученный специальным аэрофотоаппаратом с самолета или другого носителя, находящегося в воздухе.

При фотограмметрическом способе съемки карьеров производится фотографирование карьера, при этом делают два снимка с разных точек стояния.

Совместное рассмотрение пары снимков стереоскопическими приборами позволяет видеть объемное изображение карьера или его части. При фотограмметрии необходимые измерения производятся по стереоскопической модели, рассматриваемой в специальных приборах — стереокомпараторах, стереометрографах и др. При этом резко сокращаются и упрощаются полевые измерения.

### **1.6. Фототелевизионные методы исследования ствола скважины**

Бурение — один из немногих технологических процессов, не поддающихся непосредственному наблюдению. Чтобы увидеть скважину, ее стенки, забой и получить дополнительную информацию о геологическом строении и трещиноватости горных пород, техническом состоянии ствола скважины, обсадных труб применяют множество телевизионных устройств специального назначения [3].

Все телевизионные зонды, опускаемые в скважину, достаточно малогабаритны. Они имеют диаметр 60—70 мм и длину 1,5—2 м. Корпус приборов способен выдерживать высокие давления.

Фототелевизионные методы исследования ствола скважины дают дополнительную информацию о слагающих породах как в сухих, так и водозаполненных скважинах.

Скважины используют и археологи. Традиционные раскопки обходятся дорого. Предварительная оценка внутренностей обнаруженных под землей пустот, полостей, могильников или древних городищ оказывается возможной с помощью скважин. Через нее спускается перископ с элементами искусственного освещения. Наблюдения могут быть визуальными или с помощью фотосъемки.

## 2. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

### 2.1. Интерферометры в горном деле

Явление интерференции применяется в точных измерительных приборах — *интерферометрах*. Существует много разновидностей интерферометров, но все они, различаясь конструктивно, основаны на одном и том же принципе.

Интерферометры служат для определения показателей преломления прозрачных веществ (газов, жидкостей, твердых тел) с точностью до седьмого знака и их изменений в зависимости от давления, температуры, примесей и т. п.

Высокая чувствительность интерференционного метода позволяет определять местные геологические различия в структуре земной коры. Интерферометры и дальнометры имеют широкое применение в геодезии для измерения расстояний в оптическом диапазоне длин волн. Такие линейные измерения выполняются при создании геодезических сетей различного назначения, геодезических построений, при топографических, съемочных работах. Они используются для измерения расстояний до Луны, звезд и определения координат наземных пунктов в космической геодезии, для определения координат при аэрофото съемках и в морской геодезии, прецизионных линейных измерений в разнообразных задачах прикладной геодезии, измерений на геодинамических полигонах при изучении деформаций земной коры, в геодезической метрологии и т. д. [7].

Шахтный интерферометр — это прибор, позволяющий непосредственно в шахте измерять процентное содержание газов  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в воздухе. В основе действия прибора лежит интерференционный метод Юнга. Смещение интерференционной картины, полученной в результате наложения лучей света, прошедших через чистый и шахтный воздух, зависит от разности показателей пре-

ломления чистого воздуха и шахтного с примесью газов  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ . При нормальных условиях показатель преломления воздуха 1,000293, углекислого газа  $\text{CO}_2$  — 1,000450, метана  $\text{CH}_4$  — 1,000441. Примеси изменяют показатель преломления воздуха в пятом–седьмом знаках; интерферометр позволяет обнаружить это изменение.

Безвредным для здоровья людей считается содержание  $\text{CO}_2$  в воздухе 0,5 %. Смесь метана с воздухом становится взрывоопасной при концентрации его в воздухе, равной 6 %. При проходке выработок взрывные работы ведутся только при концентрации метана менее 1 %.

Лазерные интерферометры, в которых используется лазерное излучение, применяют при изучении горного давления, явлений, связанных с начальной стадией развития выбросов горной породы и газа, горных ударов, прорывов газа, воды, пльвунов; дегазации угольных месторождений и других физических процессов в призабойной зоне. Перспективно применение лазерных интерферометров при изучении различных свойств горных пород в лабораторных условиях. Их применение позволило, например, исследовать динамику процессов набухания и усадки угля, выявив при этом ряд тонких дефектов, связанных с анизотропным характером изменения размеров образца при сорбционных процессах, с образованием трещин в угле [8].

Высокая чувствительность лазерных интерферометров позволяет определять местные геологические различия в структуре земной коры, получать информацию о величине подвижек горных пород и их скорости, о распространении колебаний в горных породах.

Лазерные интерферометры Майкельсона и Фабри-Перо используются для измерения деформаций сдвига сооружений, например плотин.

## **2.2. Дифракция волн**

Явление дифракции волн имеет место при наличии локальных неоднородностей в среде. Такой неоднородностью может быть горная выработка, поверхность излома или разрыва пластов. Дифракцию необходимо учитывать при экранировании массива или инженерных сооружений от действия сейсмозрывных волн. С помощью законов дифракции исследуют процессы распространения волн в трещиноватых средах. Характер дифракции на трещинах, которыми богаты горные породы, зависит от соотношения между ее линейным размером и длиной волны [9].

Теория дифракции имеет большое значение в области геоакустики, сейморазведки и геофизики. Это связано с необходимостью выявления в массиве горных пород различных структурных неоднородностей, имеющих самую различную форму, обладающих различными свойствами и залегающих подчас на несопоставимых глубинах.

## **2.3. Голография**

Голография — это принципиально новый способ фиксирования и воспроизведения пространственного изображения предметов, основанный на регистрации интерференционной картины, т. е. она обязана своим возникновением законам интерференции и дифракции.

С помощью импульсной голографии исследуют динамику распределения неоднородностей в туманах, жидкостях и других прозрачных средах [10].

Микроволновая голография с использованием волн неоптического диапазона, особенно акустических волн и волн радиодиапазона, применяется при изучении поверхности Земли и других планет с искусственных спутников. Кроме того, акустическая голография может найти применение при изучении рельефа морского дна, в локации и навигации, при изучении внутренней структуры Земной коры и т. д.

## 2.4. Применение поляризованного света

### 2.4.1. Поляризационный микроскоп

Для изучения минералов и горных пород служит поляризационный микроскоп. Кристаллы разных веществ создают различное по величине и направлению двойное лучепреломление. Пропуская через них поляризованный свет, можно определить оптические характеристики изучаемых кристаллов и производить минералогический анализ [11].

Поляризатор выделяет из естественного света параллельный пучок поляризованных лучей. Поляризованный свет проходит через тонкий шлиф исследуемого минерала, а затем после анализатора попадает в микроскоп. Исследуемый кристалл разлагает свет на два луча, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях и распространяющихся с различной скоростью. Анализатор выделяет из обоих лучей колебания, происходящие лишь в той плоскости, которую он пропускает. Поскольку эти лучи получены из одного исходного поляризованного луча, то они когерентны и дают интерференционную картину, зависящую от оптической разности хода

$$\Delta_{\text{опт}} = (n_1 - n_2) \Delta_{\text{геом}}$$

внутри кристалла. Так как  $n_1$  и  $n_2$  зависят от  $\lambda$ , то эта картина определенным образом окрашена. Посторонние включения в минералах обладают другими оптическими характеристиками, дают иначе окрашенную интерференционную картину и легко различимы в поле зрения микроскопа.

Поляризационные микроскопы широко применяются в кристаллографии, минералогии, петрографии, геологии, металлографии и других областях.

### **2.4.2. Метод оптического моделирования в горном деле**

С помощью оптического моделирования изучают распределение напряжений в массиве горных пород. При этом используют свойство некоторых прозрачных материалов (стекло, пластмассы) в зависимости от внутренних деформаций создавать оптическую неоднородность, при которой возникает двойное лучепреломление. Благодаря этому удалось сделать видимыми напряжения внутри моделируемых конструкций [12].

Анализ результатов моделирования позволяет определять область концентрации напряжений и их величину в горных породах вокруг горных выработок, решать задачу устойчивости обнажений пород и изучать проблему управления горным давлением.

### **2.4.3. Поляриметрические методы анализа и контроля**

Вращение плоскости поляризации используется для определения и идентификации оптически активных веществ, а также для измерения их концентраций в растворах. Большая практическая ценность метода заключается в высокой точности и простоте [11].

Поляриметрические методы анализа широко используются во многих областях науки и техники, в частности, в минералогии. Поляризационные приборы используются для анализа эфирных и минеральных масел, горных смол и т. д.

Для профилирования и съемки поперечного сечения шахтного ствола применяется метод ориентирования подземных выработок с применением поляризованного света [8].

Ориентирование подземных выработок производится следующим образом. Источник поляризованного излучения находится на поверхности Земли над шахтой, и плоскость его поляризации совпадает с проектным направлением проходки тоннеля. Луч направляется вертикально вниз и попадает на фотоприемник, закрытый поляроидом. Вращением поляроида определяется плоскость

поляризации луча (по максимуму излучения) или плоскость, перпендикулярная к плоскости поляризации (по минимуму излучения), и тем самым определяется проектное направление проходки тоннеля, переданное с поверхности Земли. При этом достигается точность  $\pm 4''$  на глубине до 100 м.

Замена обычного источника света лазером, излучение которого плоскополяризовано, значительно повышает точность и дальность ориентировки с использованием поляризованного света, что обусловлено 100 %-й поляризацией, высокой интенсивностью и узкой направленностью лазерного излучения.

### **3. КВАНТОВАЯ ОПТИКА**

#### **3.1. Использование инфракрасного излучения**

##### **3.1.1. Методы, основанные на поглощении инфракрасного излучения**

Известен термоадгезионный метод механизированной отборки при обогащении полезных ископаемых, основанный на свойстве минералов по-разному поглощать инфракрасные лучи. Таким методом, например, очищается каменная соль от примесей доломита и ангидрита. Каменная соль с примесями поступает на специальную пластифицированную ленту, освещаемую лампой инфракрасного излучения. Непрозрачные куски доломита и полупрозрачные куски ангидрита под действием инфракрасных лучей нагреваются и прилипают к ленте. Каменная соль сходит с конвейера очищенной. Этот способ применим также для очистки других минералов [13].

Одним из наиболее перспективных способов разрушения ГП, на основе которого можно создавать высокопроизводительные проходческие машины, является термический с использованием инфракрасного излучения. Инфракрасные излучатели получили широкое распространение в различных отраслях промышленности, однако, специфика условий работы на исполнительных органах электротермических проходческих машин (вибрация, ударные нагрузки, за-

дымленность призабойной зоны) не позволяют использовать стандартные конструкции инфракрасных излучателей. Наиболее целесообразно разрабатывать излучатели на основе высокотемпературных сплавов сопротивления (нихромовые, железохромалюминиевые).

Негабаритные куски, образующиеся из-за несоответствия применяемых взрывчатых веществ, техники и технологии буровзрывных работ горногеологическим условиям и физико-механическим свойствам ГП, попадая в зев дробилки, нарушают цикличность работы завода и снижают производительность. Поэтому большое значение имеет дробление негабаритов при первичном дроблении горной массы в дробилках на предприятиях нерудных материалов.

Для условий камнедробильных заводов перспективным является электротермический способ разрушения негабаритов с использованием генераторов инфракрасного излучения. Этот способ применяется для разрушения скальных пород, например гранитов, путем нагрева пород инфракрасным излучением. Существуют генераторы инфракрасного излучения (длина волны  $\lambda$  от 0,8 мкм до 1 мм) шпуровые (для расширения шпуров и скважин) и поверхностные (для дробления пород и отбойки от массива). Нагрев происходит за счет поглощения до 90 % энергии инфракрасного излучения поверхностью породы.

### **3.1.2. *Тепловидение***

Инфракрасные лучи испускает любое нагретое тело. Эти лучи, как правило, называют тепловыми.

Тепловое излучение с поверхности Земли в какой-то степени отражает структуру нашей планеты. Поэтому геологи приспособливают инфракрасную аэрофотосъемку для поисков нефти и полезных ископаемых. Инженеры-строители применяют ее для определения толщины горных пород при выборе мест строительства, а также для обнаружения течи в подземных трубопроводах. Гидрологам инфракрасная аэрофотосъемка помогает находить подпочвенные воды, оценивать содержание воды в почве, наносить на карты русла ручьев и



рек, когда они скрыты бурной растительностью [14].

Современные инфракрасные приборы настолько чувствительны, что с их помощью на поверхности Земли можно обнаружить участки, температура которых отличается всего на 2—3 градуса от температуры окружающей среды. По тепловой картине земной поверхности видно, что зимой в большом городе на 2—3 градуса теплее, чем за городом.

Инфракрасные приборы (тепловизоры) обладают более высоким разрешением, чем радиолокационные. Они могут применяться в любое время суток. Высокая точность наведения, устойчивость к помехам, малые размеры и вес, незначительная мощность источников питания — все это привлекает внимание к инфракрасным приборам.

Вулканологам с помощью тепловизоров удалось составить термальные карты вулканов Камчатки. Светлые пятна и полосы на снимках указали нагретые участки — выходы раскаленных газов и горячих ключей с температурой 60—100 °С. Карты наглядно показали распределение тепла в вулканической зоне, позволили точно определить местонахождение трещин, по которым проходит тепло из магматического источника.

Инфракрасная аппаратура позволяет довольно точно обнаруживать воду, следить за ее движением. Инфракрасная съемка рек, заболоченных районов помогает работе гидрологов, инженерных геологов. Например, геологи знают, что тектонические нарушения всегда более влажны, чем окружающая местность.

Лед на тепловых фотографиях выходит более темным. А светлее всего получается вода. Тепловизор обнаруживает трещины, замурованные снегом.

У тепловизоров нет соперников и в борьбе с лесными пожарами.

Тепловизоры вовремя обнаружат трещины и места выгорания в огнеупорных материалах и тем самым предупредят серьезные аварии металлургических агрегатов доменных, мартеновских и стекловаренных печей.

Хорошо видны на инфракрасных снимках участки моря с разной температурой. Тепловые аномалии видны над вулканами и разломами, при подъеме

донных вод к поверхности. Инфракрасные снимки дают представление о распределении речного стока в море, морских течениях, особенностях формирования подводного рельефа.

Морская придонная геотермическая съемка основана на высокоточных измерениях абсолютных температур при неглубоком зондировании в слое морских осадков. Температурное поле осадков на глубине нескольких метров зависит в основном от процессов, происходящих под дном моря. Геотермическая съемка может быть использована для обнаружения грязевых вулканов, расположенных под дном моря, зон фильтраций в дно термальных вод, внедренных магматических тел, нефтяных и газовых месторождений.

### **3.1.3. Солнечная радиация, собственное излучение Земли**

Источником энергии для всех процессов, развивающихся в атмосфере, является солнечное излучение, пропускаемое "окнами прозрачности" атмосферы. Солнечная постоянная численно равна количеству энергии, поступающей в единицу времени на единицу площади поверхности, и измеряется в Вт/м<sup>2</sup>. Вблизи верхней границы атмосферы солнечная постоянная равна 1380 Вт/м<sup>2</sup>. 46 % доли солнечной лучистой энергии приходится на видимые лучи, около 47 % — на инфракрасное излучение, 1 % — на ультрафиолетовые лучи [15].

Главной особенностью радиационного режима атмосферы является так называемый *парниковый эффект*. Он состоит в том, что атмосферой почти не поглощается излучение в оптическом диапазоне (большая часть видимых лучей достигает поверхности Земли и нагревает ее) и не пропускается в обратном направлении инфракрасное (тепловое) излучение. Это значительно снижает теплоотдачу планеты и повышает ее температуру.

Поглощенная верхними слоями Земли радиация нагревает Землю, и земная поверхность излучает длинноволновую радиацию (инфракрасное, тепловое излучение), которая называется собственным излучением Земли.

Солнечная радиация имеет первостепенное значение для процесса поле-

вой сушки торфа. Изучение процессов сушки торфа теснейшим образом связано с исследованиями закономерностей теплообмена, переноса теплоты, который осуществляется в полевых условиях конвекцией, теплопроводностью и тепловым излучением. Такой процесс теплообмена называется *радиационно-конвективным*. Так как сушка торфа ведется на влажной подстилающей залеже, необходимо учитывать также тепло- и массообмен между ними. Знание законов теплообмена имеет также значение для регулирования тепловых процессов при открытых горных работах.

Тепловой режим поверхностного слоя пород зависит от солнечной радиации, излучения земной поверхности, теплообмена между поверхностью Земли и атмосферой, от скрытой теплоты, поглощаемой или выделяемой при изменениях агрегатного состояния воды на поверхности слоя (сублимация, оттаивание, испарение, конденсация, замерзание, кристаллизация).

Комплекс мероприятий, направленных на изменение составляющих теплового баланса в деятельном слое (борьба с оттаиванием пород, а также интенсификация оттаивания пород), называется *тепловой мелиорацией*. Оттаивание мерзлых пород летом приводит к резкому снижению устойчивости бортов карьеров: наблюдаются оползневые явления, а также процесс солифлюкции (медленное течение). Борьба с оттаиванием пород в бортах траншей, уступов и отвалов имеет целью повышение их устойчивости в летний период. Существуют следующие методы предотвращения глубокого оттаивания пород:

- уменьшение солнечной радиации за счет побелки поверхности откосов (рост излучения поверхности породы за счет отражения радиации);
- задымление (сокращение солнечной радиации);
- теплоизоляция откосов мхом, опилками, дерном, шлаком, раздробленными породами (сокращение теплообмена между поверхностью и атмосферой);
- увеличение теплового эффекта агрегатных переходов на поверхности откосов путем увеличения снежного покрова (рост теплоты, поглощаемой при таянии снега).

Для интенсификации оттаивания пород на дорожных участках и бульдозерных полигонах следует производить:

- предварительное удаление торфо-мохового покрова и переувлажнение поверхностного слоя;
- зачернение снежного покрова весной и удаление снега в оттепели;
- зачернение участка с последующим затоплением его водой на глубину 10—15 см ("тепловая ванна");
- покрытие участка теплопрозрачной водонепроницаемой пленкой, битумной эмульсией и др.

Тепловая мелиорация обеспечивает увеличение глубоким оттаиванием пород до трех метров. Широкое применение на практике находит метод полойной вскрышки, при котором бульдозерами ежедневно удаляют оттаивающий на 10—12 см слой пород.

#### **3.1.4. *Применение теплового действия лазерного луча***

Огромная спектральная плотность излучения лазеров дает возможность производить сварку, резку и микрообработку всевозможных материалов. В зависимости от мощности и характера действия оптического квантового генератора все применения лазеров для горного дела можно разбить на следующие основные направления:

- использование мощных импульсных и непрерывных лазеров на твердом теле и на газах для изучения характера взаимодействия излучения с веществом горных пород (ГП);
- применение мощных непрерывных лазеров для разрушения ГП, резки негабаритов, проходки шахтных стволов, туннелей, взрывных скважин. Ведутся поисковые работы по применению мощных лазеров при бурении и взрывных работах;
- использование мощных импульсных и непрерывных лазеров как источников тепловой энергии при косвенных методах воздействия на горные породы [3].

Рассмотрим в качестве примера лазерное бурение. Механизм разрушения горной породы лазерным лучом необычен, весьма разнообразен и зависит от плотности энергии импульса. При небольшой плотности поглощения оптическое излучение вызывает нагрев породы и разрушение ее плавлением.

По лабораторным данным лазерное излучение создает на забое скважины весьма большой всплеск температурного градиента: от 1100 °С на поверхности разрушаемой горной породы до 75 °С всего лишь на глубине 2,2 м от нее. В таких условиях в горной породе возникают значительные касательные напряжения, происходит шелушение и термический скол. Под воздействием же мощного лазерного луча разрушение напоминает электрический пробой диэлектрика: после появления узкого канала пробоя возникает ударная волна, порода испаряется, происходит взрывное выделение газов.

Лазерный буровой инструмент не имеет механического контакта с горной породой и поэтому его износостойкость теоретически не ограничена. В этом одно из главных преимуществ лазерного бурения.

Существующие мощности лазеров пока недостаточны для разрушения массива горной породы на всей площади забоя скважины. Поэтому конструкторы применяют комбинированное, лазерно-механическое бурение. Периферийная часть скважины разрушается серией сфокусированных лучей, испускаемых лазерами, симметрично расположенными относительно продольной оси. Центральная часть забоя, ослабленная трещинообразованием за счет термических напряжений, разрушается обычным механическим инструментом. Комбинированное лазерно-механическое бурение более производительное, чем обычное. Снижается износ долота, так как на разрушение центральной части забоя скважины требуются значительно меньшие усилия [16].

## **3.2. Примеры использования фотоэлементов в горной промышленности**

### **3.2.1. Фотоэлементы для автоматизации производственных процессов**

В угольной и горнорудной промышленности фотоэлементы используются для контроля установки клетки на нужном уровне, скорости подъема и опускания клетки, целостности канатов, регистрации слабины канатов при нахождении клетки на посадочных кулаках, для управления шахтной вентиляцией, заслонками бункеров для угля, контроля за закрыванием откидного дна скипов, для автоматического включения электрического освещения и сигнализации на подвесной канатной дороге и т. д. Фотоэлементы открывают и закрывают двери при проходе электровозов в горизонтальных горных выработках. Вагонетка или электровоз при подходе к двери прерывают луч света, падающий на фотоэлемент, и последний воздействует на пусковое устройство двигателя. При помощи фотореле работает "автоматический стрелочник". Приближаясь к стрелке, машинист электровоза, не останавливая состава, поднимает руку и на мгновение пересекает тот или другой световой луч фотореле. Стрелка переводится на нужный путь [16].

Фотореле может отсортировать породу от угля и куски угля по их размерам, указать на наличие в шахте угольной пыли, метана и ядовитой окиси углерода.

### **3.2.2. Применение фотоэлементов для измерения сопротивлений взрывной цепи**

Фотоэлемент используется как источник тока, возникающего при естественном его освещении на открытых горных работах или искусственном (например, шахтерской лампочкой на каске горняка) — на подземных работах, передачи этого тока через стрелочный гальванометр в измерительную цепь прибора

ВИЭ-1 (взрывоиспытателя). Этот прибор может измерять любые сопротивления взрывной цепи при любой ее протяженности. При прямом максимальном освещении селенового фотоэлемента солнечными лучами вырабатывается ток не более 150 мкА, что в тысячу раз меньше тока, поступающего в измерительную цепь при пользовании омметрами. Прибор устойчив в работе от  $-40$  до  $+50$  °С, пользоваться им можно в шахтах, опасных по газу и пыли, в непосредственной близости от зарядов взрывчатых веществ.

### ***3.2.3. Фотометрический способ определения запыленности рудничного воздуха***

Каменноугольная пыль может взрываться при минимальной концентрации ее в воздухе  $30 \text{ г/м}^3$ . Во взрыве помимо взвешенной участвует и пыль, которая лежит на почве, стенках и кровле выработки.

Концентрацию угольной пыли (от 0,5 до 0,55 г/м<sup>3</sup>), находящейся в воздухе, можно определять с помощью фотометрических приборов, действие которых основано на измерении ослабления интенсивности светового потока, проходящего через слой пылевых частиц, взвешенных в воздухе. Ослабление интенсивности светового потока измеряется при помощи фотоэлемента и гальванометра, луч света, прошедший через пыльный воздух, падает на фотоэлемент, в котором пропорционально силе света возбуждается электрический ток. Электрический ток измеряется специально отрегулированным гальванометром.

Преимуществом такого метода является быстрота определения пыльности воздуха, отчего он получил название экспресс-метода.

### 3.3. Эффект Комптона

При взаимодействии гамма-квантов с электронами атомов изучаемой среды наблюдаются рассеяние гамма-квантов (комpton-эффект) и их поглощение (фотоэффект). Интенсивность рассеяния гамма-излучения пропорциональна плотности среды, а интенсивность его поглощения — содержанию тяжелых элементов, поэтому исследование процесса прохождения гамма-квантов через горные породы дает возможность судить о плотности, пористости и минеральном составе пород [1, 18].

В рассеянном излучении присутствуют лучи с измененной длиной волны  $\lambda'$  и с неизменной  $\lambda$  по сравнению с длиной волны падающего излучения. Если рассеивающее вещество состоит из легких атомов, то в рассеянном излучении много лучей с  $\lambda'$  как для графита, так как у легких атомов электроны слабо связаны с ядром и могут рассматриваться как свободные при столкновении с фотонами. При рассеивателе из тяжелых атомов лучей с  $\lambda'$  меньше, чем с  $\lambda$ , так как у тяжелых атомов слабо связанными можно считать только внешние электроны. Фотон, сталкиваясь с внутренним электроном тяжелого атома, взаимодействует со всем атомом и отскакивает от него как упругий шарик от упругой стенки. С увеличением порядкового номера атомов рассеивателя интенсивность излучения с длиной волны  $\lambda$  увеличивается, а с длиной волны  $\lambda'$  — уменьшается. Выравнивание интенсивностей рассеянных лучей с  $\lambda$  и  $\lambda'$  происходит уже у рассеивателей с порядковым номером  $N$  порядка 20. Это свойство комptonовского эффекта можно использовать для определения наличия тяжелых элементов в стенках буровых скважин. Опустив в скважину рентгеновский излучатель и детекторы, настроенные на рассеянные  $\lambda$  и  $\lambda'$ , можно получить представление о наличии в стенке тяжелых элементов, например, свинца.



Эффект комптоновского рассеяния гамма-лучей положен в основу действия радиоактивного датчика, который используется для автоматизации процесса вождения угольных комбайнов. Отклонение машины от линии раздела в уголь или породу влияет на интенсивность рассеянного излучения. Изменение знака выдаваемого сигнала позволяет судить о том, в какую сторону отклоняется комбайн.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Применение методов атомной и ядерной физики в горном деле* / А. Д. Суханов, Р. И. Баранов [и др.]. М.: Наука, 1969. 206 с.
2. *Земских Г. В., Кортев Н. В.* Маркшейдерско-геодезические приборы: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. 144 с.
3. *Копылов В. Е.* Бурение?... Интересно. М.: Недра, 1981. 160 с.
4. *Береговой Г. Т.* Космос — землянам. М.: Молодая гвардия, 1983. 191 с.
5. *Спиридонов А. И.* Теодолиты. М.: Недра, 1985. 200 с.
6. *Бордюков М. П.* Фотограмметрия в горном деле. М.: Изд-во МГИ, 1983. 64 с.
7. *Радиогеодезические и электрооптические измерения.* / В. Д. Большаков [и др.]. М.: Недра, 1985. 303 с.
8. *Загороднюк В. Т.* Лазерные устройства в горной промышленности и строительстве. Новочеркасск: НПИ, 1978. 878 с.
9. *Ямщиков В. С.* Волновые процессы в массиве горных пород. М.: Недра, 1984. 271 с.
10. *Островский Ю. И.* Голография и ее применение М.: Наука, 1976. 256 с.
11. *Жевандров Н. Д.* Применение поляризованного света. М.: Наука, 1978. 176 с.

12. *Арсентьев А. И., Падуков В. А.* Беседы о горной науке. Л.: Наука, 1981. 160 с.
13. *Дмитриев А. П., Гончаров С. А.* Термодинамические процессы в горных породах. М.: Недра, 1990. 359 с.
14. *Меркулов А. П.* Магнитные поля — труженики. М.: Машиностроение, 1978. 184 с.
15. *Антонов В. А., Малков Л. М., Гамаюнов Н. И.* Технология полевой сушки торфа. М.: Недра, 1981. 239 с.
16. *Клементьев С. Д.* Фотоэлектроника и ее применение. М.: Воениздат, 1954. 88 с.
17. *Дахнов В. И.* К познанию недр Земли (геофизические исследования скважин). М.: Недра, 1968. 144 с.

Учебное издание

Лидия Николаевна Лукашевич  
Ольга Владимировна Садырева  
Людмила Кузьминична Катанова

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ  
ЯВЛЕНИЙ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Часть 3  
Оптика

*Учебно-методическое пособие*  
к лекциям по дисциплине «Физика»  
для преподавателей кафедры физики и  
студентов всех специальностей

Редактор В. В. Баклаева

Компьютерная верстка О. В. Садыревой

Подписано в печать

Бумага писчая. Формат бумаги 60×84 1/16. Печать на ризографе.

Гарнитура Times New Roman

Печ. л. 1,63. Уч.-изд.л. 1,44. Тираж 100 экз. Заказ №

Издательство УГГУ

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.

Уральский государственный горный университет

Отпечатано с оригинал-макета

в лаборатории множительной техники УГГУ