

# **Физика и современные технологии**

## Эффект потемнения к краю видимого диска звезды Бетельгейзе

Известен эффект потемнения изображения звезды к краю, обусловленный особенностями строения звезд. Можно предположить, что потемнение к краю звезд и Солнца реализуется по общему закону. Если это так, то отношение яркостей точек видимых дисков Солнца и звезды Бетельгейзе, изображенных на рис.1 (а); (в) и (д).

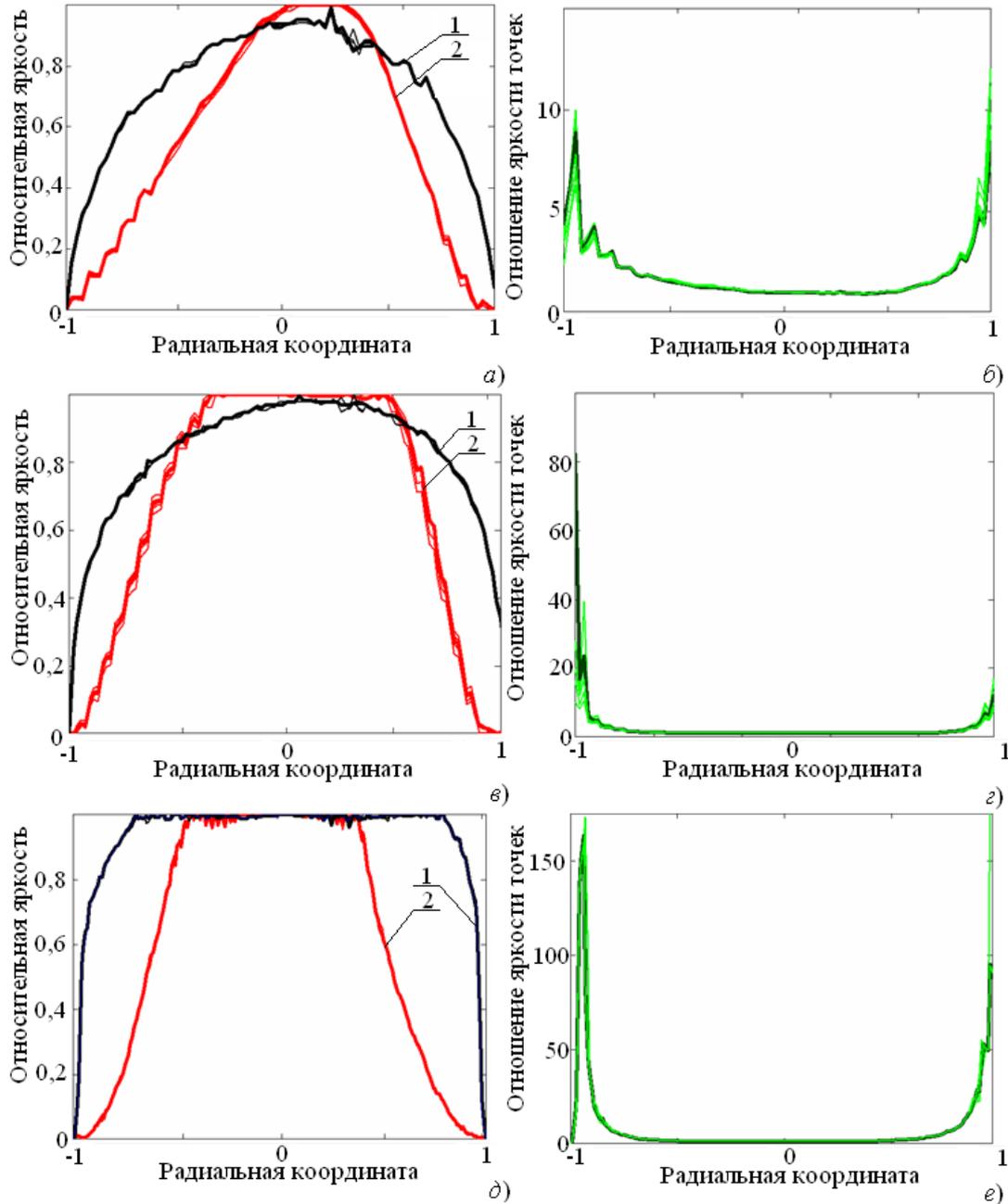


Рис.1. Относительная яркость Солнца и звезды Бетельгейзе в диапазоне длин волн синего цвета (а), зеленого цвета (в), красного цвета (д); отношение относительной яркости Солнца к относительной яркости звезды Бетельгейзе в диапазоне длин волн синего цвета (б), зеленого цвета (г), красного цвета (е).

Соответственно для Солнца (линии 1) и звезды (линии 2), нормированных на максимальную яркость объекта и относящихся к одним и те же цветам, должно быть равно единице, отличаясь от единичного значения случайным образом.

На рис.1 (б); (з) и (е) представлены графики зависимостей подобного отношения от координат на видимом диске объекта. Анализ графиков показывает, что ожидаемое единичное значение реализуется в центре и у самых краев видимых изображений, тогда как вблизи краев обнаружен всплеск исследуемого отношения для изображений всех цветов, что свидетельствует о неслучайном характере этого всплеска. Можно предположить, что всплеск обусловлен явлением гравитационного самолинзирования видимого изображения звезды ее собственным гравитационным полем.

На рис.2 изображена схема явления гравитационного самолинзирования видимого изображения звезды ее собственным гравитационным полем. Световые лучи, распространяясь из точек  $z_1$  и  $z_2$  звезды, расположенных на краю ее видимого диска, отклоняются от прямолинейности и поступают к наблюдателю  $N$  по траекториям  $(z_1; a_1)$  и  $(z_2; a_2)$  с асимптотами  $(a_1; z_1')$  и  $(a_2; z_2')$ , вследствие чего видимое изображение точек края звезды смещается в точки  $z_1'$  и  $z_2'$ . При этом светимость изображения распределяется по большему телесному углу, вследствие чего яркость изображения уменьшается к краю, обуславливая гравитационное потемнение изображения звезды к краю. Можно предположить, что этим явлением обусловлено превышение яркостью краев солнечного диска яркости краев видимого диска звезды.

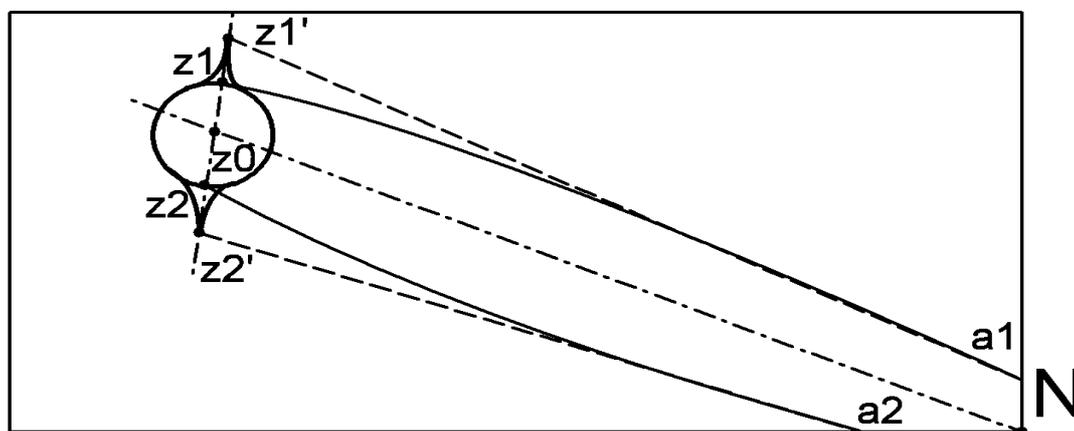


Рис.2. Явление гравитационного самолинзирования.

#### Литература

1. Варгашкин, В.Я. Проблемы фундаментальной метрологии: EGS - подход к наблюдениям эффекта Эйнштейна и предполагаемые проявления кручения пространства – времени – Москва: International institute for theoretical & applied physics – 1998.

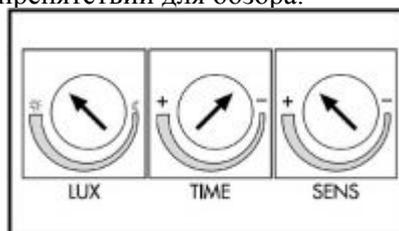
## Датчики движения для освещения

Проблема энергосбережения в нашей стране в настоящее время крайне актуальна. Датчики движения просто-таки врываются в нашу жизнь. Количество марок постоянно увеличивается, меняется стоимость, да и вездесущая реклама призывает "перепрофилироваться" потребителя именно на эти датчики, оставив в прошлом обычные выключатели. На основании своих исследований, изученных материалов СМИ, я могу сделать вывод, что с точки зрения экономии электроэнергии и денежных средств датчики движения более предпочтительны. На сегодняшний день датчики движения пользуются очень большим спросом. Их применение более выгодно, нежели выключатели. Но не все население знает о плюсах и минусах датчиков движения. Полностью перейти к новым технологиям мешает психологический фактор «привычности» и осторожного отношения ко всему новому. Несмотря на то, что цена на них выше, все равно, за счет экономии электроэнергии датчиков движения окупится в быстрые сроки.

Датчики движения - это удобные помощники в Вашем доме. Они помогают сделать Ваш дом безопаснее, включают освещение там, где Вы появляетесь, и выключают его при Вашем уходе, экономя электроэнергию на 40-50%. Датчики движения - один из главных шагов на пути автоматизации дома или офиса. Принцип действия датчика движения несложен — при появлении движения в зоне обнаружения он замыкает цепь, тем самым, включая подсоединенные к нему приборы. При отсутствии движения цепь автоматически размыкается, отключая все приборы.

Областей применения датчиков движения очень много - любой электрический прибор можно заставить реагировать на появление человека в зоне охвата датчика. Но чаще всего датчики движения используются для обеспечения безопасности и временного включения освещения. В комплексах безопасности датчики движения могут включать прожекторы, сирены и камеры видео наблюдения, реагируя на появление человека в охраняемой зоне. В доме и офисе датчиками движения обычно оснащают осветительные приборы в помещениях, где человек находится непродолжительное время (кладовые комнаты, подсобные помещения и т.д.), в коридорах и на лестницах. Простота установки датчиков движения позволяет быстро подключить их к системе освещения или безопасности, а небольшие размеры и различные цвета оформления - сделать их незаметными или даже скрытыми. Самые распространенные способы установки датчика движения - на стене или на потолке помещения (в зависимости от угла обзора конкретной модели датчика), вблизи к управляемому датчиком электроприбору.

Потолочные датчики движения обычно имеют максимальный угол обзора помещения - до 360 градусов. Модели для настенного крепления имеют меньший угол обзора (90 - 240 градусов) и контролируют часть помещения: пространство перед дверью или окном, лестничное пространство, часть коридора, площадку перед гаражом или стоянкой автомобиля и т.д. Ваша фантазия не ограничена при выборе места установки датчика движения - выберите любое удобное и не создающее датчику препятствий для обзора.



У датчика движения есть еще и возможность настройки. Датчики настраиваются потенциометрами. Обычно их три:

1. временной интервал для отключения,
2. уровень освещенности,
3. уровень чувствительности.

Временной интервал (TIME) для отключения задает время, в течение которого датчик будет работать с момента последнего обнаружения движения. Значения устанавливаются в промежутки от 5 секунд до приблизительно 10 минут (в зависимости от модели). Из всех настроек самая простая. Оцените, как часто появляются в зоне обнаружения датчика люди и выставите время задержки отключения освещения на 1-2 минуты больше этого значения, чтобы избежать постоянных включений/отключений освещения.

Уровень освещенности (LUX) нужен для корректной работы датчика в светлое время суток. При возникновении движения датчик определяет уровень освещенности, и если он ниже порогового, то датчик срабатывает, если выше — датчик не срабатывает. Оно и логично — зачем днем и без того освещенной естественным светом комнате включать электрическое освещение. Дождитесь освещенности от окон, при которой датчик должен включать светильники. Медленно поворачивайте потенциометр Lux, пока не включится свет. Если потенциометры на тыльной стороне датчика, то придется его снимать, поворачивать потенциометр, устанавливать датчик и проверять включение светильников. Не включились, опять повторяйте эту процедуру.

Уровень чувствительности (SENS). Чем выше чувствительность, тем лучше датчик реагирует на движения. Если же срабатываний датчика слишком много, то чувствительность лучше уменьшить, настраивается яркость ИК света, на которую должен реагировать датчик. Если датчик на вас не реагирует, увеличивайте чувствительность. Свет включается самопроизвольно — снижайте. Обычно чувствительность настраивается за 3-4 раза. Если датчик настраивался летом, вполне возможно, что зимой придется его перенастраивать. И наоборот. Надо заметить, что датчиков в общем и датчиков движения в частности сейчас достаточно много. Каждый вид подходит под какую-то определенную задачу. При установке датчика движения важно учесть параметры комнаты. Расположение дверей, основные пути движения людей — все это оказывает существенное влияние на выбор места для установки. Подключить датчик движения не сложнее, чем подключить обычный выключатель. В обоих случаях датчик движения или выключатель замыкает, или наоборот, размыкает электрическую цепь, в которую последовательно включен светильник, поэтому схема подключения датчика движения аналогична подключению светильника через выключатель. Иногда требуется, чтобы, несмотря на отсутствие движения в помещении светильник работал постоянно — тогда в схему может быть добавлен выключатель, подключенный параллельно к датчику движения. В этом случае выключатель продублирует работу датчика движения, и оперировать светом можно будет принудительно. В некоторых случаях, когда ввиду особенностей помещения один датчик не в состоянии охватить всю площадь этого помещения применяется схема подключения светильника с двумя датчиками движения. При срабатывании любого датчика цепь замыкается и на контакты светильника подается рабочее напряжение. В среднем, номинальная мощность датчиков движения 500-700 Вт, что ограничивает их использование с большей нагрузкой. Иногда возникает необходимость подключения нескольких мощных электроламп через датчики движения (напр. освещение двора частного жилого дома). В этом случае лучше всего использовать магнитный пускатель. Важно! Все работы с проводкой проводите при отключенном электричестве в доме. При этом соблюдайте все правила техники безопасности при работе с электропроводкой. Обязательно изолируйте все оголенные участки проводки, перепроверьте правильность подключения. После подсоединения всех контактов можно собрать датчик движения и закрепить его на выбранном месте. По окончании всех монтажных работ нужно проверить работу датчика.

Для примера 9 этажный дом с 6 подъездами поставили в своих подъездах датчики движения на освещение. До датчиков на дом приходилось 34000 кВт в месяц, а после установки 27000 кВт.

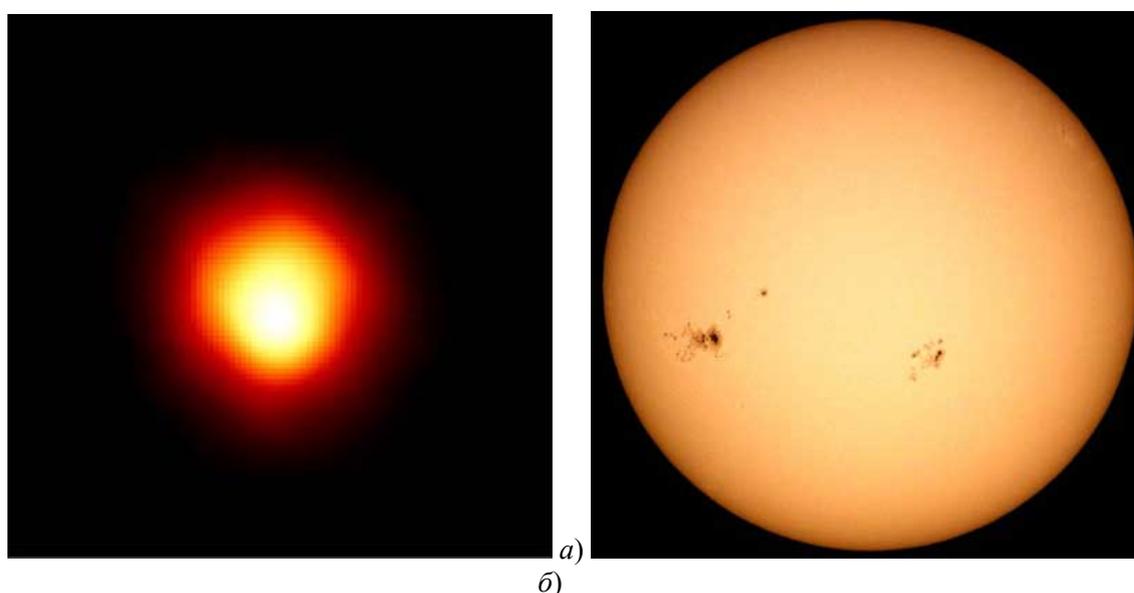
Я считаю, что экономить энергию должно все человечество и каждый человек в отдельности. Пусть каждый из нас начнет это делать сегодня, и результат не заставит себя долго ждать. Счет на оплату электроэнергии приятно обрадует своей незначительностью.

#### Литература

1. Материалы газет «Комсомольская правда», «Саратовские вести», «Краснокутские вести», «Аргументы и факты» за 2009-2010 гг.
2. Материалы журналов «Физика в школе», «Наука и жизнь» за 2010 г.
3. Материалы из Internet: <http://s-economit.ru/sekonomit-elektroenergiju;>  
<http://ru.wikipedia.org/wiki> и др.

## Сравнительный анализ распределения яркости звезды Бетельгейзе и Солнца

На рис.1 представлена фотография разрешенного видимого диска Солнца и звезды Бетельгейзе, выполненная с помощью космического телескопа Хаббл. По спутниковым данным установлена зависимость приведенной яркости от положения светящейся точки на видимом диске звезды Бетельгейзе и диске Солнца вдоль их видимого диаметра. В качестве нормирующего значения для расчета приведенной яркости использовано максимальное значение яркости видимого диска.



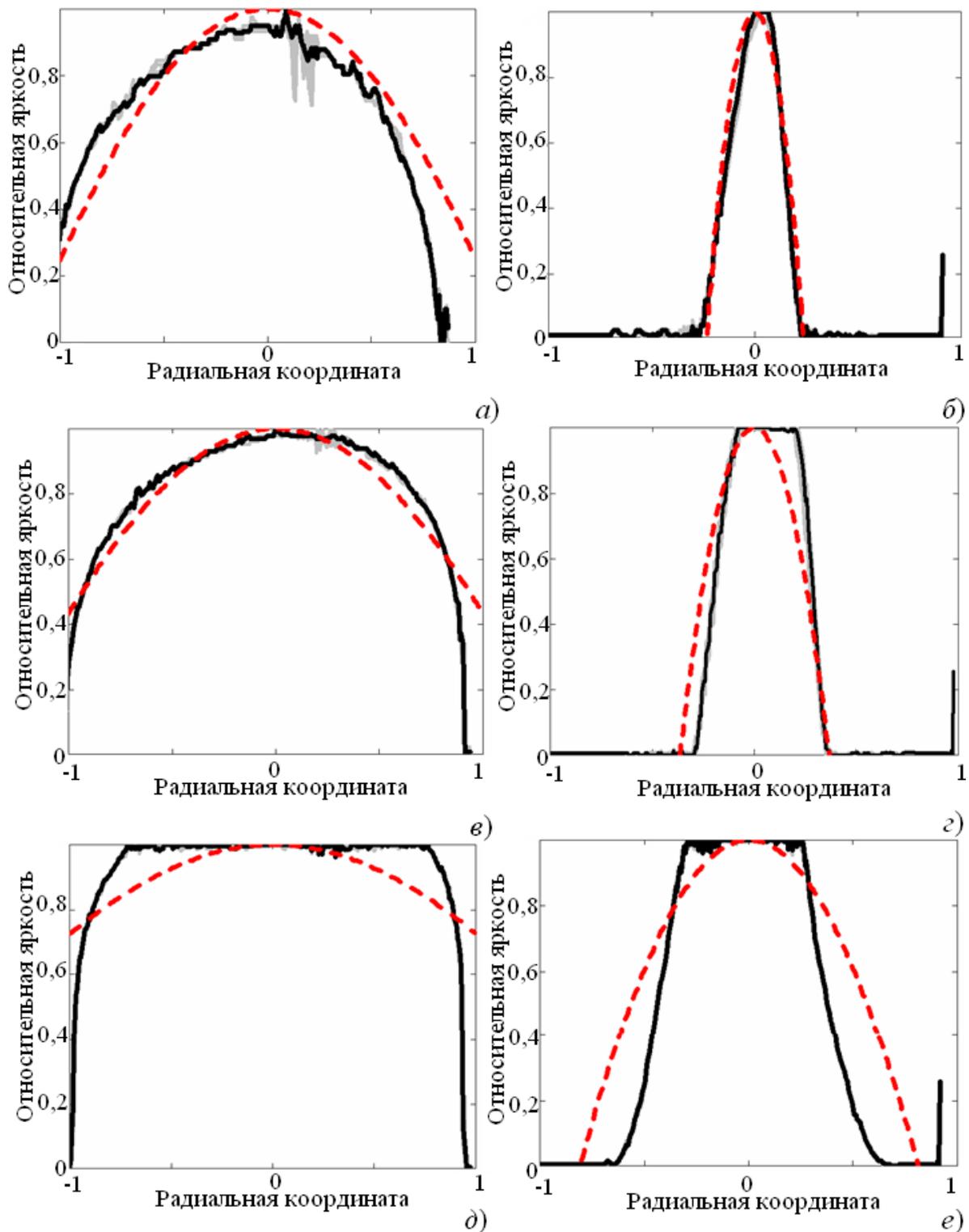
**Рис.1 – Изображение видимого диска звезды Бетельгейзе (а) и Солнца (б).**  
Полученные зависимости аппроксимировались стандартной кривой:

$$I = 1 - Q \cdot (1 - \cos \alpha), \quad (1)$$

где  $I$  – относительная яркость;  $Q$  – коэффициент потемнения к краю;  $\alpha$  – угол между нормалью и направлением на наземного наблюдателя в светящейся точке видимого диска лежащей на его диаметральной сечении.

Результаты расчетов представлены на рис.2, где графики  $a, в, д$  относятся к Солнцу,  $б, з, е$  – к Бетельгейзе, причем графики  $a$  и  $б$  соответствуют длине волны синего,  $в, з$  – зеленого,  $д, е$  – красного цвета. На графиках сплошной линией изображена кривая относительной яркости, а пунктирной линией – кривая (1).

Установлено, что для световых волн всех наблюдавшихся длин наблюдается превышение коэффициента  $Q$ , характеризующего звезду Бетельгейзе над аналогичным коэффициентом для Солнца. Таким образом, между распределениями яркости по видимым дискам звезды Бетельгейзе и Солнца имеются статистически значимые качественные и количественные различия.



**Рис.2-**Относительная яркость в диапазоне длин волн синего цвета для Солнца (а) и звезды Бетельгейзе (б), зеленого цвета для Солнца (в) и звезды Бетельгейзе (г), красного цвета для Солнца (д) и звезды Бетельгейзе (е)

### Литература

1. Варгашкин, В.Я. Проблемы фундаментальной метрологии: EGS - подход к наблюдениям эффекта Эйнштейна и предполагаемые проявления кручения пространства – времени – Москва: International institute for theoretical & applied physics – 1998.

Л.С. Галашёва  
Научный руководитель – доцент, канд. физ.-мат.наук М.Н. Кулигин  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: kaf-eivt@yandex.ru

## **Исследование и разработка системы управления рентгеноскопической установкой**

События, произошедшие в России и мире в течение последних лет, доказывают, что сегодня терроризм представляет одну из наиболее реальных и опасных угроз мировому сообществу. [1]

Рентгеновские сканеры используются для бесконтактного досмотра грузов и багажа. Багаж пассажиров в аэропортах и сумки студентов в школах досматриваются с помощью таких устройств на предмет возможного наличия запрещенных предметов, в том числе и оружия террора.

В связи с тем, что химический состав веществ (оружие, взрывоопасные вещества, контрабанда, наркотики), которые необходимо контролировать на таможнях, разный, несвоевременное определение данных веществ может привести к очень серьезным последствиям.

Такие сканеры имеют низкую мощность излучения и безопасны для окружающих. Основной частью является генератор рентгеновских лучей, детекторная линейка для детектирования лучей проходящих через досматриваемый багаж, блок обработки данных (обычно стандартный компьютер) для преобразования сигналов полученных с детекторной линейки в изображение и конвейер, который используется для проведения багажа через сканер.

Досматриваемый объект перемещается в досмотровом туннеле с помощью ленточного транспортера, пересекает веерный луч рентгеновского излучения, формируемого рентгеновской трубкой. Теневое изображение сечения объекта регистрируется линейкой фотодатчиков и циклически формирует изображение объекта, выводимое на экран.

Для контроля необходимо излучать волны разной длины и интенсивности. Поэтому необходимо стабилизировать работу и интенсивность излучения рентгеновской трубки. Причины, вызывающие изменение рабочих параметров рентгеноскопов в процессе работы, – колебания напряжения сети и изменение анодного тока. [2]

Задача дипломной работы заключается в исследовании и разработке системы управления рентгеноскопической установкой. В соответствии с заданием на дипломную работу основными функциями системы управления являются:

- обеспечение точности изображения;
- обеспечение заданных значений частоты и интенсивности рентгеновского излучения.

Разрабатываемая в дипломной работе система предназначена для управления рентгеноскопической установкой досмотра багажа, для предотвращения перемещения через границу оружия, контрабанды, наркотиков, взрывоопасных веществ. Система может работать автономно, по заданной программе или управляться вручную, при помощи пульта управления.

### **Литература**

1. Информация о цифровом рентгенографическом сканере для досмотра людей с целью выявления запрещенных предметов, в том числе и орудий террора «Контур»;
2. Монография Т.А. Пьявченко, В.И. Финаев «Автоматизированные информационно-управляющие системы». – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2007. – 271 с.

Е.Н. Григоркин  
Научный руководитель – профессор, д-р техн. наук А.В. Самохин  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23

## **Иновационные источники света**

По статистике 30% вырабатываемой энергии расходуется на освещение улиц, магазинов, крупных предприятий, домов и прочих мест которые нуждаются в искусственном свете. На эти 30% процентов ежегодно в мире тратится свыше 260 миллиардов долларов. Цифра огромная, но сократить ее вдвое вполне реально применяя инновационные источники света. Внедряя новые источники освещения, можем сэкономить около 106 миллиардов долларов. С экологической точки зрения это еще и сокращение выбросов углекислого газа в атмосферу объемом 555 миллионов тонн в год, и экономия 1,5 миллиарда баррелей нефти.

В связи с ранее перечисленными причинами, а так же растущие тарифы на электроэнергию вынуждают более активно искать инновационные технологии в освещении.

В качестве осветительного оборудования, как правило, применяются различные модели уличных светильников общего пользования, оснащенных натриевыми и ртутными лампами. Причем количество натриевых ламп значительно превышает количество ртутных. В связи с экономическими и эксплуатационными факторами натриевые лампы пришли на смену ламп накаливания как более энергоэффективные источники света, обладающие наибольшей световой отдачей среди газоразрядных ламп. Свет, создаваемый такими лампами, имеет ярко выраженное смещение спектра в сторону желтого при этом количество синих и зеленых составляет значительно меньше. Такую плохую цветопередачу можно назвать как «спектральный перекося», она создает дискомфорт в восприятии зрительной информации, а так же значительно ухудшает видимость объектов.

Не знаю, замечали ли за собой водители автотранспорта или нет, но особенно видимость ухудшается во время сумерек. В связи с чем хотелось бы добавить, что сумерки у нас «навигационные», другими словами, когда центр Солнца находится ниже горизонта от 6 до 12 градусов, и как следствие этого их продолжительность составляет около двух часов. А в период сумерек недостаточно уже естественного освещения для нормальной жизнедеятельности, что требует включения искусственного освещения. Все объекты «окрашиваются» в серые полутона и для обеспечения нормальной видимости от источника света требуются не только высокая светоотдача, но и спектр света, максимально приближенный к естественному.

А согласно статистическим данным наибольшее количество ДТП происходит во время сумерек. Решением данной проблемы является замена натриевых ламп лампами, имеющими высокие показатели цветопередачи и отдачи. По этим параметрам конечно подойдут и обычные люминесцентные лампы, но в силу конструктивных особенностей они не нашли распространения в уличном освещении.

Ситуацию кардинально меняет применение индукционных ламп. Рассмотрим преимущества данных источников света в аспекте уличного освещения:

**1. Высокий индекс цветопередачи.** Индекс цветопередачи показывает, насколько естественно выглядит окружающее пространство в свете данной лампы. За эталон качества освещения приняты солнечный свет ( $Ra=100$ ). У лампы накаливания  $Ra=97-99$ . По общепринятой классификации, значения индекса цветопередачи для индукционных ламп составляет  $Ra>80$  и является хорошим показателем. У натриевых ламп низкое значение индекса цветопередачи  $Ra=20-30$ , именно поэтому доставляет такой дискомфорт для зрительного восприятия;

**2. Срок службы индукционных ламп.** Благодаря конструктивным особенностям, а именно из за отсутствия «изнашивающихся» нитей накала и электродов, увеличен на порядок, по сравнению с люминесцентными лампами, и может составлять около 100 000 часов работы. При этом не исключается их дальнейшая эксплуатация вплоть до полного «выгорания» люминофора. После 100 000 часов работы уровень светового потока составляет 50-65% от первоначального показателя. Так же следует заметить, что длительный срок эксплуатации индукционных ламп значительно сокращает эксплуатационные расходы, такие, как оплата труда персонала,

стоимость закупки и хранения традиционных ламп, транспортные расходы при обслуживании уличного освещения;

**3.** Превосходная светоотдача. Существующие технологии, базирующиеся на явлении электромагнитной индукции и газовом разряде для излучения света, позволяют производить лампы со светоотдачей свыше 80 лм/Вт, а в перспективе этот параметр может достичь значения 300-400 лм/вт;

**4.** Отсутствие мерцаний (пульсаций) и стробоскопического эффекта. За счет использования электронного балласта, который создает ток с рабочей частотой 190-250 кГц, что позволяет обеспечить комфортные условия для участников дорожного движения. Мгновенный запуск индукционной лампы минимизирует потери электричества и позволяет оптимально использовать систему освещения. Это дает возможность построить интеллектуальные системы освещения. Например, мгновенное включение освещения на транспортной магистрали в тех местах, где происходит движение транспортных средств или пешеходов. Кроме того, датчик движения может быть совмещен с датчиком уровня освещенности (он же сумеречный выключатель). Его настраивают на определенное значение освещенности, при котором датчик не позволяет включать лампы при достаточном уровне света. Для сравнения отметим, что в целях розжига натриевых и ртутных ламп требуется определенное время, а натриевая лампа не включается в разогретом состоянии и на ее включение требуется время (10-15 минут).

**6.** Количество циклов включения/выключения. Не зависит от срока службы ламп и является одной из важных характеристик индукционных ламп;

**7.** Диммирование (изменения интенсивности света). Эта отличительная особенность индукционных ламп, что позволяет применять интеллектуальные системы для управления освещением. Использование в системе управления освещением регулятора мощности вместе с астрономическим таймером позволяет добиться еще большей экономии электроэнергии за счет регулирования яркости свечения ламп. Например, во время сумерек нужна повышенная мощность свечения для увеличения контрастности и видимости объектов, тогда как ночью для обеспечения нужного уровня освещенности требуется меньшая мощность. Внедрение интеллектуальных систем позволяет одновременно измерять, анализировать и снижать потребление энергии, проводить удаленный мониторинг и управление уличным освещением, что значительно снижает расходы на техническое обслуживание;

**8.** Широкий диапазон цветовых температур (2700-6500К). От теплого белого до дневного света – позволяет выбрать (мягкий и естественный излучаемый свет) оптимальную подсветку в зависимости от условий освещения. Для сравнения цветовая температура натриевых ламп – всего 800К, что делает невозможным цветное видение.

Учитывая технические характеристики, снижение затрат на эксплуатацию и возможность построения эффективных систем освещения, можно смело утверждать, что на сегодняшний день именно индукционные лампы являются наиболее энергоэффективным источником света, который необходимо использовать в освещении улиц города Муром и прилегающих поселков.

А.А. Капитонова  
Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук А.Ф. Ан  
*Муромский институт Владимирского государственного университета*  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: anaf1@yandex.ru

## **Физические основы оптических квантовых генераторов**

Лазер – устройство, генерирующее когерентные направленные электромагнитные волны за счет вынужденного испускания или рассеяния света активной средой, находящейся в оптическом резонаторе.

Вероятность вынужденного испускания для системы, находящейся в возбужденном состоянии  $e_2$ , пропорциональна спектральной плотности излучения  $s(\omega)$  действующей волны и равна вероятности поглощения для системы, находящейся в нижнем состоянии  $e_1$ . При термодинамическом равновесии системы, состоящей из большого количества частиц, каждая из которых может находиться только в двух энергетических состояниях  $e_1$  и  $e_2$ , число частиц  $n_1$  и  $n_2$  в этих состояниях определяется распределением Больцмана, причем  $n_2 < n_1$ . Поэтому в обычных (равновесных) условиях вещество поглощает электромагнитные волны. Поглощение уступает место усилению волны при ее распространении через вещество, если  $n_2 > n_1$ . Такое состояние вещества называют инверсным (с инверсией населённости) и не является равновесным.

Если через среду с инверсией населённости проходит электромагнитная волна с частотой  $\omega = (e_2 - e_1)\hbar$ ,

то по мере ее распространения в среде интенсивность  $I$  волны будет возрастать за счет актов вынужденного испускания, число которых  $n_2 s$  превосходит число актов поглощения  $n_1 s$ . Усиление волны обусловлено тем, что фотоны, испускаемые в актах вынужденного излучения, неотличимы от фотонов, образующих эту волну. Таким образом,

$$I = I_0 e^{(\bar{b}-\bar{v})z},$$

где  $I_0$  – интенсивность входящей волны,  $\bar{b} \sim (n_2 - n_1)$  – коэффициент квантового усиления,  $\bar{v}$  – коэффициент потерь за счет рассеяния и резонансного поглощения,  $z$  – длина пути, пройденного волной в веществе.

Вещество, приведенное в инверсное состояние, неизбежно возвращается в равновесное состояние (релаксирует). При этом избыточная энергия выделяется в виде фотонов (люминесценция). Свет люминесценции, распространяясь в инвертированной среде ( $\bar{v} < \bar{b}$ ), усиливается за счет актов вынужденного испускания (сверхлюминесценция).

Для превращения сверхлюминесценции в генерацию когерентных волн необходима обратная связь, за счет которой электромагнитная волна, излученная частицами инвертированной среды, многократно вызывает в этой среде новые акты вынужденного испускания точно таких же волн.

Таким образом, лазер должен содержать три основных элемента: а) активную среду (активный элемент), в которой создается инверсия населённости; б) устройство для создания инверсии в активной среде (систему накачки); в) устройство обратной связи (оптический резонатор).

Лазеры широко применяются в технологических процессах, медицине, локации. Повышение стабильности работы современных лазеров открывает широкие перспективы в области сверхдальней оптической связи, осуществления управляемого термоядерного синтеза, создания систем обработки данных с огромным объемом памяти и быстродействующими устройствами ввода-вывода информации. С изобретением лазера человечество получило в свое распоряжение качественно новый, универсальный и высокоэффективный инструмент для производственной и научной деятельности.

## Определение энергии активации

Атомы в металлах, изоляторах, полупроводниках расположены регулярно и образуют кристаллическую решётку, свойства которой повторяются периодически. В отличие от металлов, у изоляторов и полупроводников валентные связи атомов при образовании решётки оказываются насыщенными, т.е. электроны внешних атомных оболочек располагаются таким образом, что в невозбуждённом кристалле число электронов и число квантовых состояний равно.

При низких температурах зона проводимости пуста, и поэтому ток в таких кристаллах возникнуть не может. Ток возникает тогда, когда создаётся асимметрия в движении электронов, например, вправо электронов движется больше, чем влево. Энергии электронов, движущихся вправо и влево, должны различаться. Если валентная зона заполнена, то выше её верхнего края нет разрешённых электронных состояний, на которые могли бы перейти электроны. Поэтому движение электронов, а, следовательно, и тока появиться не может.

Для возникновения тока части электронов нужно сообщить энергию, превышающую ширину запрещённой зоны. Если каким-либо способом такую энергию электрону сообщить, то он может оказаться на одном из разрешённых уровней зоны проводимости, в которой возможно его свободное перемещение и появиться электрический ток. Если удалить из валентной зоны электрон, то там появляется свободный уровень энергии. На этот вакантный уровень может переместиться другой электрон из валентной зоны. В результате вакансии переместится в направлении, противоположном перемещению электрона, т.е. появление «свободного места» соответствует движению положительного заряда.

Такой положительный заряд принято называть дыркой. В действительности в кристаллах нет подвижных положительных зарядов.

Можем сделать вывод, что невозбуждённые идеальные кристаллы, которые не имеют примесей или дефектов, находящиеся при температуре абсолютного нуля ( $T=0$ ) в таких условиях не проводят ток. Далее рассмотрим условия, приводящие к возникновению электропроводности кристаллов.

Если температура кристалла конечна, то атомы кристаллической решётки совершают тепловые колебания. Частоты и амплитуды этих колебаний не произвольны. При этом колеблющуюся решётку можно рассматривать как некоторую среду, заполненную «газом» фононов.

Число и энергия частиц в фононном газе зависит как от температуры, так и от свойств кристалла. При повышении температуры число фононов и их энергия очень быстро возрастают. При взаимодействии фононов с электронами валентной зоны последним может быть передана энергия, которой достаточно для преодоления запрещённой зоны.

Продельвая опыт в лабораторных условиях по изучению температурной зависимости сопротивления полупроводника и определения энергии активации, ввели температурный коэффициент сопротивления.

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT},$$
$$\alpha = -\frac{\Delta E}{2KT^2},$$

где  $\Delta E$  - энергия активации,  $K$  – постоянная Больцмана.

Продельав расчеты для металла и полупроводника пришли к выводу, что у металлов температурный коэффициент сопротивления слабо зависит от температуры в отличие от полупроводника.

Знак минус показывает, что с повышением температуры сопротивление полупроводника уменьшается. Данный коэффициент у полупроводников по абсолютной величине на один порядок больше, чем у металлов. В связи с тем, что и сопротивление и температурный коэффициент очень сильно изменяются в зависимости от температуры, для термочувствительного сопротивления принято указывать эти величины для определенной температуры.

Данный расчет можно использовать для теплового контроля режима работы механизмов и машин, осуществить компенсацию температурного изменения сопротивления отдельных участков электрических цепей.

Таким образом, при нагревании полупроводника, в нем появляются электроны и дырки, и он становится проводящим.

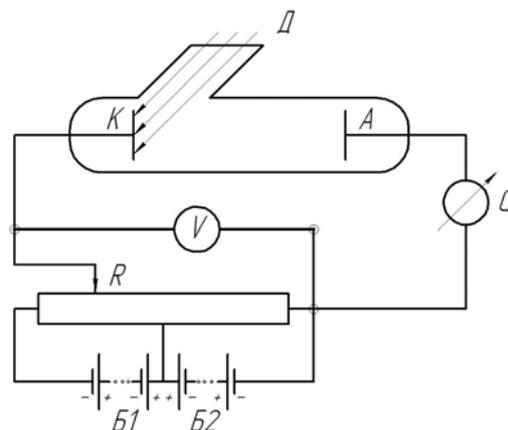
## Опыты А.Г. Столетова по исследованию фотоэффекта

В 1887 году Г. Герц установил, что пробой воздушного промежутка между двумя электродами происходит при меньшей разности потенциалов, если освещать катод ультрафиолетовым светом. Сущность данного явления, названного внешним фотоэффектом, состоит в том, что под действием света (электромагнитного излучения) с поверхности металлического тела вырываются электроны. Первые количественные исследования фотоэффекта были проведены выдающимся русским физиком, уроженцем г. Владимира Александром Григорьевичем Столетовым.

В установке для изучения фотоэффекта А.Г. Столетов устанавливал друг перед другом цинковую пластинку и железную сетку. Пластинка (катод) соединялась с отрицательным полюсом электрической батареи, а сетка (анод) через чувствительный гальванометр – с положительным полюсом. Эта система представляет собой разомкнутую цепь, так как между катодом и анодом существует воздушный зазор. Однако, если на цинковую пластинку через железную сетку направить свет от мощной вольтовой дуги, гальванометр зафиксирует появление электрического тока (фототока) в цепи. Это свидетельствует о том, что падающий на цинковую пластинку свет вырывает из нее электроны (фотоэлектроны). При увеличении напряжения между электродами электроны быстрее отбрасываются от катода, и сила фототока увеличивается. Позднее установка Столетова была усовершенствована Ф. Ленардом и другими исследователями (рис. 1).

В результате проведенных экспериментов А.Г. Столетов установил [1, 2]: 1) свет, падая на поверхность отрицательно заряженного тела, уносит с него электрический заряд; 2) положительный заряд световыми лучами не уносится; 3) разряжающее действие лучей обнаруживается даже при кратковременном освещении (безынерционность фотоэффекта); 4) разряжающее действие пропорционально энергии активных лучей, падающих на поверхность тела (количество фотоэлектронов, вырываемых в единицу времени с поверхности тела, пропорционально интенсивности падающего света).

Работы А.Г. Столетова явились началом научно-технической революции в области радиотехники и электроники, связанную с созданием устройств на базе электронных ламп – радиоприемников и передатчиков, рентгеновских аппаратов, телевизоров, электронных микроскопов, ЭВМ, радиолокаторов и многих других.



**Рис. 1– схема установки  
для изучения фотоэффекта**

### Литература

1. Столетов А.Г. Избранные сочинения / Под ред. А.К. Тимирязева. – М.-Л.: Гос. изд. техн. литературы, 1950. – 660 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики: учеб. пособие. В 3-х тт. Т. 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – СПб.: Изд-во «Лань», 2005. – 320 с.

Н.В. Рогова,  
М.М. Матвеев

*Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева  
601910, Россия, г. Ковров, Владимирская области, ул. Маяковского, д. 19  
e-mail: emkkgta@list.ru*

## Дифракция света

Дифракция света – это отклонение световых лучей от прямолинейного распространения при прохождении сквозь узкие щели, малые отверстия или при огибании малых препятствий. Явление дифракции света доказывает, что свет обладает волновыми свойствами. Для наблюдения дифракции можно:

- пропустить свет от источника через очень малое отверстие или расположить экран на большом расстоянии от отверстия. Тогда на экране наблюдается сложная картина из светлых и темных концентрических колец.

- или направить свет на тонкую проволоку, тогда на экране будут наблюдаться светлые и темные полосы, а в случае белого света – радужная полоса.

Дифракция основана на принципе Гюйгенса-Френеля. Принцип Гюйгенса-Френеля дает объяснение явлению дифракции:

1. вторичные волны, исходя из точек одного и того же волнового фронта (волновой фронт – это множество точек, до которых дошло колебание в данный момент времени), когерентны, т.к. все точки фронта колеблются с одной и той же частотой и в одной и той же фазе;

2. вторичные волны, являясь когерентными, интерферируют.

Явление дифракции накладывает ограничения на применение законов геометрической оптики:

Закон прямолинейного распространения света, законы отражения и преломления света выполняются достаточно точно только, если размеры препятствий много больше длины световой волны.

Дифракция накладывает предел на разрешающую способность оптических приборов:  
- в микроскопе при наблюдении очень мелких предметов изображение получается размытым  
- в телескопе при наблюдении звезд вместо изображения точки получаем систему светлых и темных полос.

Рассмотрим дифракцию света. Длины волн светового излучения очень малы, поэтому дифракцию света можно наблюдать только на значительном расстоянии от отверстия. Это объясняется тем, что изменения во фронте волны по мере удаления от отверстия делаются все заметнее.

Для наблюдения дифракции авторами был проведен эксперимент. На пути параллельных монохроматических лучей поставим непрозрачный экран с узкой щелью, а на некотором расстоянии от него поместим другой экран, на котором будем наблюдать дифракционную картину. Напротив щели видна светлая полоса, а за ней слева и справа чередуются темные и светлые полосы.

Поставлены были вопросы, на которые авторы хотели ответить в ходе эксперимента:

1. как изменятся дифракционные полосы, если ширина щели будет уже;

2. какая дифракционная картина будет наблюдаться, если щель осветить лучами другой длины волны или белым светом;

3. что произойдет, если количество щелей увеличить.

В ходе эксперимента выяснилось, что с уменьшением ширины щели увеличивается ширина светлой полосы, расположенной напротив щели.

При освещении щели светом другой длины волны изменялось расстояние между дифракционными полосами, а при освещении отверстия белым светом картина дифракции получается более расплывчатой и имеет радужную окраску из-за сложного строения белого света.

Если увеличить количество щелей, то места на экране, в которых лучи накладываются с одинаковыми фазами, будут уже и ярче. Заметим, что сближение щелей ведет к увеличению расстояния между светлыми линиями на экране. Именно на описанных явлениях основано устройство дифракционной решетки.

В.И. Чернобровина  
Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук А.Ф. Ан  
Муромский институт Владимирского государственного университета  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
e-mail: anaf1@yandex.ru

## Об альтернативных источниках энергии

Потребности мировой экономики в энергоносителях постоянно возрастают при быстром сокращении запасов традиционных видов топлива (нефти, природного газа, угля). Также весьма ограничены ресурсы урана и тория, из которых можно получать ядерное горючее для атомных электростанций. При этом перспективы освоения в ближайшее время управляемого термоядерного синтеза остаются неопределенными. На этом фоне проблема использования нетрадиционных видов энергии приобретает особую актуальность. В докладе освещены некоторые аспекты ветроэнергетики, применения гидро-, геотермальной и солнечной энергии.

Стремление освоить *энергию ветра* привело к созданию ветроэлектрических агрегатов – ветродвигателей с электрогенераторами. Ветряное колесо приводит в движение динамомашину (электрогенератор), который является надежным автономным источником электропитания потребителей в труднодоступных районах (нефтяных месторождений, на островах, районах Арктики и т.п.). Широкому применению ветроагрегатов пока препятствует высокая себестоимость производимой ими электроэнергии.

Весьма перспективным направлением является строительство и использование *приливных электростанций* (ПЭС). Установлено, что запасы экологически чистой и возобновляемой энергии морских приливов могут обеспечить до 15 % мирового энергопотребления. При работе ПЭС используется перепад уровней полной и малой воды во время прилива и отлива. Перекрыв плотиной залив или устье впадающей в море (океан) реки, можно при достаточно высокой амплитуде прилива (> 4 м) создать напор, достаточный для вращения гидротурбин и сопряженных с ними роторов электрических генераторов. При одном бассейне ПЭС может вырабатывать электроэнергию непрерывно в течение 4–5 ч с перерывами 1–2 ч четырежды в сутки. Использование приливной энергии ограничено в основном высокой стоимостью сооружения станции. Для ее снижения в нашей стране использован наплавной способ: строительство и монтаж производятся в условиях приморского промышленного центра, а затем в собранном виде объект буксируется по воде к месту установки.

*Геотермальная энергетика* основана на использовании природной теплоты Земли. Для производства электроэнергии на месторождениях горячей воды может применяться метод использования пара, образующегося в результате испарения жидкости на поверхности: при приближении горячей воды, находящейся под высоким давлением, по скважинам из бассейна к поверхности давление падает и примерно 20 % жидкости вскипает, превращаясь в пар. Этот пар отделяется сепаратором от воды и направляется в турбину. Такие энергоустановки используются в Новой Зеландии, Японии, Мексике, США.

Наиболее перспективным по масштабам и экологической чистоте является использование *солнечной энергии*. Для преобразования солнечного излучения в электроэнергию можно: а) использовать солнечную энергию как источник тепла для выработки электроэнергии традиционными способами (с помощью турбоагрегатов); б) непосредственно преобразовывать солнечную энергию в электрическую посредством солнечных элементов. В докладе рассмотрены физические основы работы солнечных электростанций.

Таким образом, растущий дефицит энергии и ограниченность топливных ресурсов создают объективные предпосылки для более широкого применения нетрадиционных, альтернативных источников энергии. Эти источники экологичны и преимущественно используют энергию Земли и Солнца.