

**КГКП КОСТАНАЙСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЫСШИЙ  
КОЛЛЕДЖ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АКИМАТА  
КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ**

---

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ МОДУЛЮ**

МОО 02.1 «Внедрение нетрадиционных источников»  
Специальности 0902000 - «Электроснабжение(по отраслям)»



*Разработан преподавателем спец дисциплин Костанайского  
политехнического высшего колледжа Есенгельдиной Б.Д*

Костанай, 2021 г

## **Введение**

**Возобновляемые источники энергии** – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии. Типичный пример – солнечное излучение с характерным периодом повторения 24 ч. Возобновляемая энергия присутствует в окружающей среде в виде энергии, не являющейся следствием целенаправленной деятельности человека, и это является ее отличительным признаком.

Исходя из природно-климатических условий Казахстана, особенностей ведения сельскохозяйственного производства, можно рекомендовать для улучшения условий энергоснабжения использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. В качестве таких источников энергии на территории Казахстана следует рассматривать энергию солнечной радиации и ветра, малых рек и горных ручьев, использование отходов сельскохозяйственного производства для получения горючего биогаза, геотермальной энергии. При изучении данной дисциплины студенты познакомятся с основными научными и практическими положениями, которые могут быть полезны для определения возможностей эффективного применения систем солнечного отопления и горячего водоснабжения, а также ветроустановок.

### **Цели и задачи дисциплины**

Цель дисциплины – овладение будущими специалистами теоретическими и практическими навыками по эффективному использованию нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в народном хозяйстве Республики Казахстан.

#### **Задачи дисциплины:**

- овладение студентами основных научных принципов получения энергии при помощи нетрадиционных методов;
- ознакомление с устройством, принципом работы и основами эксплуатации установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;
- овладение методами проектирования установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;
- ознакомление с методами оценки технико-экономического и народно-хозяйственного значения использования установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

**Содержание.**

<b>Теоретическая часть</b>	
<b>Введение</b> .....	2
<b>Раздел 1. Основы нетрадиционных источников</b> .....	5
Тема 1. Основы использования возобновляемых источников энергии.....	5
Тема 2. Традиционные источники энергии.....	6
Тема 3. Научные принципы использования возобновляемых источников энергии.....	9
Тема 4. Виды, основные направления использования и ресурсы возобновляемых источников энергии.....	10
Тема 5. Принципы построения Солнца, часового угла и продолжительности светового дня.....	12
<b>Раздел 2. Солнечная энергия</b> .....	13
Тема 6. Основные законы солнечной энергии.....	13
Тема 7. Солнечные системы для получения электроэнергии.....	14
Тема 8. Теория коллекторов солнечной энергии.....	16
Тема 9. Виды коллекторной солнечной энергии и их конструкция.....	17
<b>Раздел 3. Ветроэнергия</b> .....	19
Тема 10. Основы теории использования энергии ветра.....	19
Тема 11. Понятие ветроэнергетики. Характеристики ветровых потоков.....	20
Тема 12. Классификация ветродвигателей по принципу их работы.....	21
Тема 13. Конструкция ветроустановок.....	23
<b>Раздел 4. Гидравлическая энергия</b> .....	24
Тема 14. Основы гидравлической энергии.....	24
Тема 15. Определения потенциальных, технических и экономических ветроэнергоресурсов.....	25
Тема 16. Микро и мини гидроэлектростанции.....	27
Тема 17. Биотопливо.....	28
Тема 18. Энергия биогаза.....	29
<b>Планы практических занятий</b> .....	30
Тема 1. Определение времени истинного солнечного полдня.....	30
Тема 2. Расчет склонения Солнца, часового угла и продолжительности светового дня.....	32
Тема 3. Определение времени эффективной работы СТС.....	38
Тема 4. Расчет изменения плотности потока солнечного излучения в течение суток на горизонтальную поверхность.....	40
Тема 5. Расчет оптимального угла наклона КСЭ в течение года.....	52
Тема 6. Расчет параметров ветронасосного агрегата.....	57
Тема 7. Определение потенциальных, технических и экономических ветроэнергоресурсов.....	59
Тема 8. Расчет параметров турбины для гидроэлектростанции.....	62

<b>Диагностико-контролирующий блок.....</b>	<b>68</b>
Описание проверочных испытаний в соответствии с результатами обучения (по разделам).....	72
Контрольный лист.....	73
Тестовые задания.....	80
Тематика рефератов и докладов.....	81
Вопросы для итогового контроля.....	83
Заключение.....	83
Литература.....	84

## **Раздел 1. Основы нетрадиционных источников.**

### **Тема 1. Основы использования возобновляемых источников энергии.**

При выяснении возможности использования энергии от установок, работающих на возобновляемой энергии, необходимо ответить на 3 основных вопроса:

1. Чему равны энергоресурсы потенциальных источников возобновляемой энергии.
2. Цели использования производимой энергии.
3. Стоимость производимой энергии по сравнению с энергией от других источников.

Последний вопрос – является важнейшим для потребителей энергии и в конечном итоге является решающим при практическом использовании возобновляемых энергоресурсов.

Все источники энергии можно разделить на два класса.

1. Возобновляемые источники энергии – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии. Типичный пример – солнечное излучение с характерным периодом повторения 24 ч. Возобновляемая энергия присутствует в окружающей среде в виде энергии, не являющейся следствием целенаправленной деятельности человека, и это является ее отличительным признаком.

2. Невозобновляемые источники энергии – это природные запасы вещества и материалов, которые могут быть использованы человеком для производства энергии. Примером: ядерное топливо, уголь, нефть, газ. Энергия невозобновляемых источников в отличие от возобновляемых находится в природе в связанном состоянии и высвобождается в результате целенаправленных действий человека.

**Источники энергии.** Существует 5 основных источников энергии:

1. Солнечное излучение;
2. Движение и притяжение Солнца, Луны и Земли;
3. Тепловая энергия ядра Земли, а также химических реакций и радиоактивного распада в ее недрах;
4. Ядерные реакции;
5. Химические реакции различных веществ.

Источники 1-3 являются источниками возобновляемой энергии. Источниками невозобновляемой энергии являются – 1 (топливо на основе окаменелых органических соединений), 3 (горячие горные породы), 4 и 5.

При планировании энергетики следует придерживаться следующих **принципов**:

1. Совершенная энергетическая система должна наиболее полно учитывать особенности источников энергии и ее потребителей. К сожалению, о потребителе часто забывают, и поэтому оказываются плохо увязанными его

потребности и возможности источников энергии. Это приводит к неэкономному расходованию энергии и ее потерям.

2. Расчеты, использующие эффективность или коэффициент полезного действия энергетической системы, наиболее полно раскрывают ее возможности и позволяют избежать ненужных потерь энергии. Под эффективностью или КПД системы здесь понимается отношение полезной энергии на выходе системы ко всей энергии, затраченной на ее производство.

3. Повышение эффективности энергосистемы и экономических показателей ее работы во многом зависит от искусства управления ею. Ни при каком источнике энергия не достается даром, и на практике энергия возобновляемых источников обычно гораздо дороже, чем принято считать, поэтому никогда не могут быть оправданы бесполезные ее затраты.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы основные источники возобновляемой и невозобновляемой энергии?
2. Каковы основные виды источников энергии и их отличие друг от друга?
3. В чем отличие друг от друга принципов планирования энергетики?

### **Тема 2. Традиционные источники энергии**

Традиционными источниками энергии называют невозобновляемые ресурсы, такие как нефть, природный газ, уголь. Массовая разработка традиционных источников началась с промышленной революции, когда новые технологии позволили первичную энергию угля переработать в энергетический ресурс с высоким коэффициентом полезного действия на тот период технического развития. В последующем нефть и газ начали преобладать на энергетическом рынке. Еще в 1948 г. доля угля в общем потреблении основных источников энергии составляла 60%. Но в 50-60-е гг. структура потребления энергоресурсов изменилась, на первое место вышла нефть — 51%, доля угля сократилась до 23%, природного газа составила 21,5%. В итоге, зависимость отражалась на энергетической безопасности стран, в особенности после нефтяных кризисов, связанных с конфликтами на Ближнем Востоке. После «нефтяного эмбарго» 1973 года и проблем с поставками нефти и газа из-за исламской революции в Иране 1979-1980, западные страны начали искать пути замены традиционных источников энергии на альтернативные. [8, с. 21-27 ]

Альтернативными источниками энергии являются совокупностью перспективных способов получения энергии и заменяющий собой традиционные источники энергии, функционирующие на нефти, добываемом природном газе и угле.

Видами альтернативной энергетики являются солнечная энергетика, ветроэнергетика, биомассовая энергетика, волновая энергетика, градиент-температурная энергетика, эффект запоминания формы, приливная энергетика, геотермальная энергия. [3]

Использование альтернативных источников энергии признано более экологичным, чем традиционных. На сегодняшний день существует множество проектов в Европе и России по привлечению инвестиций в данную область. Например, «зеленый тариф» и «зеленых сертификатов». [10, с. 800-806]

Целью работы является выявление эффективности традиционных и альтернативных источников работы.

Для достижение данной цели необходимо решить ряд задач:

- Выявить преимущества и недостатки возобновляемых и невозобновляемых источников энергии;
- Рассмотреть объемы выработки данных ресурсов на примере России и Европы;
- Изучить распространенные виды энергетических ресурсов;

Методологической базой послужили статьи отечественных исследователей в области энергетики, статистические базы (Министерство Энергетики РФ, The European wind energy association, Shell), информационные источники.

#### Традиционные источники

Потребление традиционных источников на данный момент велико. Например, уголь занимает второе место по рейтингу мирового производства, переработки и потребления энергии. На первом месте стоит нефть, а тройку замыкает природный газ. Таким образом, традиционные источники энергии используются чаще, чем альтернативные энергоресурсы. Но в то же время они являются зачастую невозобновляемыми или трудно-возобновляемыми ресурсами, что приводит к ряду проблем.

На сегодняшний день существует три основные проблемы, связанные с энергетической безопасностью и использованием традиционных видов источников. Первой проблемой является «энергетический голод» или ограниченность энергоресурсов, второй – угроза «экологического инфаркта» или экологические проблемы, связанные с разработкой энергетических ресурсов и третья – геополитические и социальные угрозы.

Первая проблема связана с истощаемостью основных видов ресурсов, а также их отсутствием в определенных странах, что вынуждает их тратить значительную часть своего государственного бюджета на закупку этих ресурсов. Но существует также и угроза для стран-экспортеров энергоресурсов, так как существует вероятность переориентации экономики в

пользу доходов от сырьевой разработки. Такое развитие рассчитывает на стабильность мирового экономического рынка.

Вторая проблема заключается в нанесении вреда окружающей среде в связи с разработкой традиционных энергоресурсов. Более половины техногенных выбросов в атмосферу парниковых газов приходится на объекты энергетики. Техногенные аварии на энергетических объектах вследствие их больших масштабов и мощностей становятся техногенными катастрофами. Примером является авария на нефтяной платформе в Мексиканском заливе. [6]

Попытка перераспределения энергоресурсов, которые неравномерно расположены на поверхности земли приводит к третьей проблеме. Следствием является попытка насильственного передела энергоресурсов любыми средствами вплоть до военных. Массовая миграция в более перспективные для жилья районы и так далее. [11, с. 5-13]

### Уголь

По последним данным Министерства Энергетики РФ, которые, к сожалению, не обновлялись с 2015 года, прирост составил 4% по сравнению с 2014 годом и составило 373,4 млн т, что является наивысшей отметкой в добыче после распада СССР. На экспорт было предоставлено 151,4 млн т, при этом поставки в дальнее зарубежье составили 139,8 млн т, что на 1,6% больше, чем в предыдущем году. Уголь обеспечивает 30% мировых потребностей в первичной энергии и 41,1% мирового производства электроэнергии, при этом происходит сокращение его потребления. Снижение потребления в большинстве случаев связан со снижением цен на нефть и на природный газ, которые являются главными конкурентами. Экспорт угля будет снижаться аналогичными темпами в ближайшие годы, так как основные рынки сбыта для России (Китай, Япония и Европа) достигли пика потребления, а рост этого показателя не фиксируется уже около 10-15 лет. [4]

### Нефть

Более динамичная картина отображается со статистикой добычи и экспорта нефти. По данным на 2016 год добыча нефти увеличилась на 2,5% по сравнению с 2015 годом и составило 547,5 млн т, а экспорт увеличился на 12,4 млн тонн, или +5,1 %. 68% российской нефти в прошлом году купили европейские страны, 31,4% – азиатские, 0,6% – прочие страны. «Большая часть нефти в этом и следующем году должна пойти в европейском направлении, так как расширение ВСТО планируется завершить к 2020 г. Несмотря на то, что европейские страны являются главными потребителями нефти и угля, поставки на Восток увеличились в 12-17 раз и достигли 73,4 млн т в

Восточную Азию и 76.8 млн т в Юго-Восточную Азию. Каждая третья тонна уходила на Восток. [7]

Газ

Всего за 2016 г. в стране добыто 640,2 млрд куб. м газа, что выше уровня 2015 г. на 0.7%. Экспорт увеличился более чем на 8% и составил 208,6 млрд куб. м. Перспективными направлениями являются поставки через разрабатываемые газопроводы «Сила Сибири», «Северный поток-2» и «Турецкий поток». По «Турецкому потоку» в феврале 2017 года президентом РФ был подписан федеральный закон «О ратификации соглашения между Правительством РФ и Правительством Турецкой Республики по протоколу газопровода «Турецкий поток»» №4 -ФЗ. [5]

Контрольные вопросы:

1. Традиционные источники это.
2. Виды традиционных источников.
3. Применение традиционных источников.

### **Тема 3. Научные принципы использования возобновляемых источников энергии.**

Из выше приведенных определений возобновляемых и истощаемых источников энергии видно принципиальное различие между ними, поэтому эффективно использовать возобновляемые источники энергии можно только на основе научно разработанных принципов использования этой энергии.

Очень важно установить, что в окружающем нас пространстве всегда существуют потоки возобновляемой энергии и энергетика на возобновляемых источниках энергии должна ориентироваться только на эти уже существующие энергоресурсы, а не ставить себе целью создание новых. Прежде чем развивать энергетика на возобновляемых источниках, необходимо точно определить их мощность. Это требует регулярных и длительных наблюдений и анализа параметров этих источников. Вначале необходимо оценить ресурс того или иного вида возобновляемой энергии, а уже потом ту его часть, которая может быть использована в энергоустановках.

Потребность в энергии, как правило, не постоянна во времени. Например, потребность в электроэнергии максимальна в утренние и вечерние часы и минимальна в ночное время. Традиционные тепловые электростанции могут подстраиваться под эти колебания спроса на энергию, регулируя расход

топлива. При использовании же возобновляемых источников энергии колеблется не только спрос на энергию, но и мощность этих источников, поэтому работающие на этих источниках электроустановки должны учитывать оба эти фактора, которые часто противоречат друг другу.

О качестве источника энергии говорят часто, но, как правило, не поясняют, что же это такое. Мы под качеством источника энергии будем понимать долю энергии источника, которая может быть превращена в механическую работу. Например, электроэнергия обладает высоким качеством, так как с помощью электродвигателей более 95 % ее можно превратить в механическую работу. Качество тепловой энергии, выделяющейся при сжигании топлива на традиционных ТЭЦ, довольно низкое, потому что только около 30 % теплотворной способности топлива превращается в конечном счете в механическую работу. По этому признаку возобновляемые источники энергии можно разделить на 3 группы.

1. Источники механической энергии, как, например, гидро-ветро источники, волновые и приливные. В целом качество этих источников энергии высокое, и они обычно используются для производства электроэнергии.

2. Тепловыми возобновляемыми источниками энергии являются, например, биотопливо и тепловая энергия Солнца. Максимальная доля тепла таких источников, которая может быть превращена в механическую работу, определяется вторым законом термодинамики.

3. Источники энергии на основе фотонных процессов, к которым относятся источники, использующие фотосинтез и фотоэлектрические явления.

В зависимости от характеристик потребителя или нагрузки во многом зависит выбор используемого источника энергии. Вкладывая средства в развитие энергетики, необходимо помнить, что повышать экономичность и эффективность потребителей, как правило, выгоднее, чем увеличивать производство энергии.

После анализа характеристик потребителя и потенциальных источников возобновляемой энергии необходимо согласовать их друг с другом. Для согласования источников энергии с потребителями используются различные методы управления. Эти методы могут быть реализованы различными способами применительно ко всей энергосистеме или ее частям.

### **Контрольные вопросы**

1. На основе каких данных (параметров) производится анализ возобновляемых энергоресурсов?
2. Каковы основные виды возобновляемых источников энергии, классифицируемых по качеству энергии?

#### **Тема 4. Виды, основные направления использования и ресурсы возобновляемых источников энергии.**

Согласно представленным данным можно различить 4 вида энергии: **тепловую, химическую, механическую и световую.**

По аналогии с запасами органического топлива и ресурсами гидравлической энергии рек ресурсы ВИЭ целесообразно подразделять на следующие виды: потенциальные, технически реализуемые и экономически доступные.

**Потенциальные ресурсы** – общее количество энергии в окружающей человека среде, принципиально доступное для практического использования.

**Технически реализуемые ресурсы** – та часть потенциальных ресурсов, которая может быть использована для практических целей средствами современной технологии без существенного ущерба окружающей среде.

**Экономически доступные ресурсы** – та часть технически реализуемых ресурсов, освоение которых конкурентноспособно с альтернативными технологиями и обеспечено финансовыми, материальными и трудовыми ресурсами.

Экономически доступные в настоящее время:

1. Системы солнечного теплоснабжения для пассивного солнечного обогрева и активные системы с простейшими плоскими солнечными коллекторами для сезонного горячего водоснабжения и обогрева плавательных бассейнов
2. Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии для энергоснабжения автономных потребителей (для питания микроэлектронной и радионавигационной аппаратуры), для стационарного энергоснабжения космических летательных аппаратов.
3. Горючие возобновляемые энергоресурсы (биомасса и отходы).
4. ГеоТЭС
5. Ветроэнергетика (в основном для энергоснабжения автономных потребителей)
6. Гидравлическая энергия рек

Ныне источники возобновляемой энергии покрывают до 10% европейского энергопотребления, а в 2010 г. ожидается его повышение до 25%.

Таким образом, можно сказать, что освоение альтернативных источников энергии наблюдается в тех странах, где ограничены запасы органического топлива и не развивается ядерная энергетика.

Хозяйственное использование солнечной, ветровой и других возобновляемых видов энергии определяется уровнем развития инженерно-технических средств улавливания, преобразования и аккумулирования энергии, надежностью и сроками службы установки, их стоимостью.

Солнечная энергия широко используется для обогрева и охлаждения зданий, горячего водоснабжения, сушки плодов и другой сельскохозяйственной продукции. Основным элементом установок для

подобного использования солнечной энергии являются различной конструкции коллекторы солнечной энергии, которые могут быть изготовлены из различных материалов, вплоть до полимеров.

Системы для преобразования солнечной энергии в большинстве случаев работают с аккумуляторами тепловой энергии и установками, использующими другие источники энергии, т. е. комбинированные (например, энергия ветра и биомассы).

### **Контрольные вопросы**

1. В чем отличие четырех существующих видов энергии?
2. В чем отличие трех видов ресурсов возобновляемых источников энергии?
3. Каковы области применения солнечной энергии?

## **Тема 5. Принципы построения Солнца, часового угла и продолжительности светового дня.**

Гидрометрическая сеть должна быть построена рационально. Это означает, что количество постов и станций и их место расположения должно быть такое, чтобы можно было вычислить для любого пункта данной территории значение каждого метеорологического элемента с необходимой точностью.

Точность определения каждого метеорологического элемента в данном пункте зависит от расстояния между ближайшими станциями и от изменчивости данного элемента по территории и во времени.

В горных районах изменчивость дополнительно зависит от высоты местности, характера рельефа, расположения склонов, что требует более плотной сети расположения станций и постов.

Основными метеорологическими элементами называется комплекс качественных и количественных характеристик, с помощью которых характеризуют состояние атмосферы и происходящие в ней процессы.

Основными метеорологическими элементами являются следующие показатели: солнечная радиация, температура воздуха и почвы, атмосферное давление, скорость и направление ветра, испарение и влажность воздуха, облачность, видимость, погодные явления или климатические процессы (осадки, атмосферные явления - метели, туманы, грозы и т. д.).

Ряды данных наблюдений за различными видами солнечной радиации имеют свои особенности, связанные со спецификой наблюдений. Прежде всего, наблюдения проводятся в сроки, отличные от сроков, установленных для наблюдения за другими метеорологическими величинами.

Приборы для измерения солнечной радиации можно разделить на две основные группы: **пирогелиометры**, используемые для измерений

направленного потока излучения и **пиранометы** или **солариметры** - для измерений полного потока.

Принцип действия большинства пиранометров, которые используются для измерения суммарной радиации, а при затенении от прямых лучей и диффузной радиации, основан на измерении разности температур черных (поглощающих излучение) и белых (отражающих излучение) поверхностей с помощью термоэлементов.

Характеристики интенсивности солнечной радиации при средних условиях облачности получают путем непосредственного подсчета по данным наблюдений при любых условиях облачности и состояния диска солнца.

Наряду со средними значениями характеристик солнечной радиации вычисляют также средние квадратические отклонения, коэффициенты асимметрии и корреляции суточных сумм радиации.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие существуют основные метеорологические элементы?
2. В чем отличие пирогелиометров от пиранометров?

## **Раздел 2. Солнечная энергия**

### **Тема 6. Основные законы солнечной энергии.**

Основным источником энергии практически всех природных процессов, происходящих на поверхности Земли и в атмосфере, является энергия, поступающая на Землю от Солнца в виде солнечной радиации.

В сравнении с солнечной радиацией все остальные источники энергии, поступающей на Землю, ничтожно малы. Так, энергия звезд составляет одну стомиллионную часть солнечной энергии; космическое излучение - две миллиардные доли. Внутреннее тепло, поступающее из глубины Земли на ее поверхность составляет одну десятитысячную часть солнечной энергии.

Таким образом. Солнце является фактически единственным источником тепловой энергии на Земле.

С увеличением солнечной активности на Земле происходят магнитные бури, которые оказывают отрицательное воздействие на телефонную, телеграфную и радиосвязь, а также на условия жизнедеятельности. С этим же явлением связано увеличение полярных сияний.

Следует отметить, что в период увеличения солнечных пятен, интенсивность солнечной радиации сначала увеличивается, что связано с общим увеличением солнечной активности в начальный период, а затем солнечное излучение уменьшается, так как увеличивается площадь солнечных пятен, имеющих температуру на  $1500^{\circ}$  ниже температуры фотосферы.

Поверхность любого тела может как излучать, так и поглощать энергию.

**Излучательной способностью** называется количество энергии, излучаемой  $1 \text{ см}^2$  поверхности тела в единицу времени.

Излучательная способность зависит от природы тела, абсолютной температуры  $T$  и длины волны  $\lambda$ .

Поглощательной способностью тела называется количество энергии в относительных единицах, которое поглощается телом из общего количества падающей на него энергии.

По **закону Кирхгофа**, отношение излучательной способности тела для определенной длины волны и абсолютной температуры  $T$  к его поглощательной способности есть величина постоянная, равная излучательной способности абсолютно черного тела при тех же условиях. Из анализа закона Кирхгофа следует, что если тело излучает энергию данной длины волны при заданной температуре  $T$ , то оно и поглощает энергию при той же температуре и длине волны. Тело, хорошо поглощающее энергию, хорошо ее излучает и наоборот.

Закон Кирхгофа называется избирательным законом поглощения. Это означает, что тело поглощает только те лучи, которые оно излучает.

Все тела в природе не являются абсолютно черными и излучают лишь определенную долю излучения абсолютно черного тела при той же температуре. По **закону Стефана-Больцмана**, полная излучательная способность абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры.

Согласно **закону смещения Вина**, произведение длины волны максимального излучения на абсолютную температуру тела есть величина постоянная. При этом, чем выше температура тела, тем более коротковолновые лучи оно излучает и наоборот.

Таким образом, при изменении температуры тела максимум энергии в его спектре смещается. Поэтому закон Вина называют законом смещения.

### **Контрольные вопросы**

1. В чем достоинства и недостатки солнечной энергии?
2. В чем отличия законов солнечной энергии друг от друга?

### **Тема 7. Солнечные системы для получения электроэнергии**

Концентрация солнечной энергии позволяет получать температуры равные или выше  $700^{\circ}\text{C}$ , достаточно высокие для работы теплового двигателя с приемлемым коэффициентом полезного действия. Для этого необходимо использование концентрирующих коллекторов солнечной энергии.

Солнечные электростанции можно выполнить по двум вариантам:  
– использование большого количества рассредоточенных параболических коллекторов;

– система большого количества гелиостатов и центральной солнечной башни.

Распространена схема, состоящая из множества небольших концентрирующих коллекторов, каждый из которых независимо следит за Солнцем. Концентраторы не обязательно должны иметь форму параболоидов, но обычно это предпочтительнее. Каждый коллектор передает солнечную энергию жидкости – теплоносителю, горячая жидкость от всех коллекторов собирается в центральной энергостанции. Теплоносущая жидкость может быть водяным паром, если она будет прямо использована в паровой турбине, или какой-либо термохимической средой – такой, как, например, диссоциированный аммиак.

Преимуществом данной системы является то, что в случае использования химического реагента отсутствуют потери между коллектором и тепловым двигателем, так что тепло может передаваться на большие расстояния или в течение длительного времени (например, с вечера в течение всей ночи, что позволяет осуществить непрерывную генерацию электроэнергии). В этой системе солнечные лучи фокусируются на приемнике, в котором газообразный аммиак при высоком давлении (около 30 МПа) диссоциирует на водород и азот. Эта реакция – эндотермическая; солнечное излучение снабжает систему энергией, необходимой для протекания этой реакции. В присутствии катализатора в камере синтеза  $N_2$  и  $H_2$  частично рекомбинируют, выделяемое при этом тепло можно использовать для подключения внешнего теплового двигателя или другого устройства. Выходящий из камеры синтеза поток охлаждается, что приводит к сжижению аммиака.

Альтернативный вариант состоит в использовании расположенных на большой площади следящих за Солнцем плоских зеркал, отражающих солнечные лучи на центральный приемник, помещенный на вершине башни, так называемые солнечные электростанции башенного типа.

Система с центральным коллектором состоит из большого числа управляемых зеркал-гелиостатов, которые отражают солнечную радиацию и направляют ее на центральный приемник, помещенный на высокой башне. При высокой степени концентрации солнечной радиации в приемнике может быть получен пар высокой температуры. Кроме воды можно использовать также и другие теплоносители (например, газообразные или жидкометаллические). В качестве рабочего тела в тепловом двигателе обычно используют:

- водяной пар с температурой до  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- воздух и другие газы – до  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- низкокипящие жидкости (в том числе фреоны) – до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- жидкометаллические – до  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для размещения солнечных электростанций лучше всего подходят засушливые или пустынные зоны. Так, районы, в которых годовое количество осадков не превышает 250 мм, занимают около 1/8 части всей суши Земли. На поверхность самых больших пустынь мира общей площадью 20 млн. км<sup>2</sup>

(площадь Сахары  $7 \text{ млн. км}^2$ ) за год поступает около  $5 \cdot 10^{16}$  кВт ч солнечной энергии. При эффективном преобразовании солнечной энергии в электрическую, равной 10%, достаточно использовать всего 1% территории пустынных зон для размещения СЭС, чтобы обеспечить современный мировой уровень энергопотребления.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие существуют варианты выполнения солнечных электростанций и в чем их различие?
2. Какой из видов рабочих тел более выгодно использовать в тепловом двигателе?

### **Тема 8. Теория коллекторов солнечной энергии.**

Полезная энергия, отводимая из коллектора в данный момент времени, – это разность количества солнечной энергии, поглощенной пластиной коллектора, и количества энергии, теряемой в окружающую среду.

Примерно 98% энергии в спектре внеземного солнечного излучения приходится на длины волн менее 3 мкм. Когда это излучение достигает стеклянного покрытия, до 90% излучения непосредственно пропускается, а остальная часть отражается или поглощается стеклом. Поглощенная энергия повышает температуру стекла, которое, в свою очередь, переизлучает энергию с обеих поверхностей – внутренней и наружной. Когда температура пластины коллектора повышается, она также излучает, но в диапазоне длин волн более 3 мкм, за исключением незначительной части энергии, обычно менее 1%, как для абсолютно черной поверхности при  $100^\circ\text{C}$ . Длинноволновое излучение, испускаемое пластиной коллектора, не может непосредственно пройти через стекло, поскольку его пропускательная способность практически равна нулю в диапазоне длин волн 3–50 мкм. Это явление хорошо известно как «парниковый эффект», и применение одного или нескольких прозрачных покрытий в значительной мере снижает тепловые потери коллектора. Прозрачные пластмассовые материалы также хорошо пропускают коротковолновое излучение, но обычно имеют заметную пропускательную способность в длинноволновой части спектра. Для прямого излучения пропускательная способность зависит от угла падения, где пропускательная способность одинарного и двойного остекления из особо прочного прозрачного оконного стекла сравнивается с пропускательной способностью стеклопластика. Стеклопластик имеет исключительно хорошие свойства в длинноволновой области спектра. Каждое прозрачное покрытие

снижает как тепловые потери с фронтальной стороны коллектора, так и долю падающей солнечной радиации, которая может достигнуть поверхности поглощающей пластины. С учетом поглощения энергии в каждом покрытии потери на пропускание при углах падения до  $35^\circ$  составляют для одинарного, двойного и тройного остекления соответственно 10, 18 и 25%. Комбинированная изоляция, состоящая из внешнего стеклянного покрытия и внутреннего покрытия из более дешевой прозрачной пластмассовой пленки, может иметь преимущество, поскольку пластмасса может обладать более высокой пропускательной способностью, чем стекло, а наружное остекление обеспечивает в определенной степени защиту от атмосферных воздействий. Расстояние между покрытиями или между внутренним покрытием и поглощающей пластиной не является существенным параметром. Согласно литературным источникам оптимальный зазор составляет от 10 до 13 мм, однако он может быть увеличен до 25 мм. Характеристики коллектора могут быть улучшены путем нанесения такого прозрачного покрытия на внутреннюю поверхность стекла, которое пропускает практически всю падающую солнечную радиацию, но отражает обратно любое длинноволновое излучение, испускаемое поверхностью пластины коллектора. Обычно используются окись индия и окись олова, а также покрытие, напыляемое в вакууме и имеющее пропускательную способность, равную 0,85 в видимой части спектра (0,55 мкм), и отражательную способность около 0,97 в инфракрасной части спектра (4,0 мкм).

Коллектор теряет тепло различными способами. Потери тепла от пластины к прозрачным покрытиям и от верхнего покрытия к наружному воздуху происходят путем излучения и конвекции, но соотношение этих потерь в первом и втором случаях не одинаково. Потери тепла через изолированные днище и боковые стенки коллектора обусловлены теплопроводностью. Коллекторы должны проектироваться таким образом, чтобы все тепловые потери были наименьшими.

### **Контрольные вопросы**

1. Как влияет изменение температуры на пропускательную способность пластин солнечных коллекторов?
2. Какое влияние имеет материал покрытия коллекторов на отражение и поглощение энергии?

## **Тема 9. Виды коллекторной солнечной энергии и их конструкция.**

Основным элементом солнечной системы является приемник, в котором происходит поглощение солнечного излучения и передача энергии жидкости. Плоский коллектор солнечной энергии (КСЭ) работает по принципу «черного ящика». Большая часть солнечной радиации, падающей на коллектор, поглощается его поверхностью, которая является «черной» по отношению к солнечному излучению. Часть поглощенной энергии передается жидкости, циркулирующей через коллектор, а остальная теряется в результате теплообмена с окружающей средой. Тепло, уносимое жидкостью, представляет собой полезное тепло, которое либо аккумулируется, либо используется для покрытия отопительной нагрузки.

Основные элементы КСЭ следующие:

- поглощающая пластина, обычно из металла, с не отражающим черным покрытием, обеспечивающим максимальное поглощение солнечного излучения;
- трубы или каналы по которым циркулирует жидкость или воздух и которые находятся в тепловом контакте с поглощающей пластиной;
- тепловая изоляция днища и боковых кромок пластины;
- один или несколько воздушных промежутков, разделенных прозрачными покрытиями в целях теплоизоляции пластины сверху;
- корпус, обеспечивающий долговечность и устойчивость к воздействию погодных факторов.

Плоские приемники собирают как прямое, так и рассеянное излучение и поэтому могут работать также и в облачную погоду. В связи с этим, а также с учетом относительно невысокой стоимости плоские приемники являются предпочтительными при нагревании жидкостей до температур ниже 100оС.

Простые приемники содержат весь объем жидкости, которую необходимо нагреть. Приемники более сложной конструкции нагревают за определенное время только небольшое количество жидкости, которая затем, как правило, накапливается в отдельном резервуаре, что позволяет снижать тепловые потери системы в целом.

Плоский коллектор обычно устанавливают неподвижно на здании. Его ориентация зависит от местоположения и времени года, в течение которого должна работать солнечная энергетическая установка.

Плоский коллектор обеспечивает низкопотенциальное тепло, требуемое для нагрева воды и отопления помещения.

Фокусирующие (концентрирующие) солнечные коллекторы, в том числе с параболическим концентратором или концентратором Френеля, могут применяться в системах солнечного теплоснабжения. Большая часть фокусирующих коллекторов использует только прямую солнечную радиацию. Преимущество фокусирующего коллектора по сравнению с плоским состоит в том, что он имеет меньшую площадь поверхности, с которой тепло теряется в окружающую среду, а следовательно, рабочая жидкость может быть нагрета в нем до более высоких температур, чем в плоских коллекторах.

Однако для нужд отопления и горячего водоснабжения более высокая температура, почти (или совсем) не имеет значения. Для большинства концентрирующих систем коллектор должен следить за положением солнца. Системы, не дающие изображения солнца, обычно требуют регулировки несколько раз в год.

В большинстве применяемых на практике солнечных энергетических установок степень концентрации солнечного излучения, т.е. отношение плотности лучистого потока на поверхности приемника к плотности потока прямой солнечной радиации, должна составлять около 10 или более, чтобы достигнуть высоких температур. Это можно сделать с помощью различных следящих систем, но было бы значительно выгоднее, если бы требуемая степень концентрации достигалась неподвижным коллектором.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные элементы коллекторов солнечной энергии?
2. В чем отличие плоских коллекторов от фокусирующих?

### **Раздел 3. Ветроэнергия.**

#### **Тема 10. Основы теории использования энергии ветра.**

Воздушный поток, как и всякое движущееся тело, обладает кинетической энергией. Одним из видов использования кинетической энергии является превращение ее в механическую работу.

Энергия ветра изменяется пропорционально кубу его скорости и поперечного сечения.

Отличительным свойством ветра является его повсеместность. Однако техническое использование энергии ветра во многих случаях крайне затруднено из-за низкой плотности воздуха (она в 800 раз меньше плотности воды). Для получения значительной мощности необходимо ветроколесо очень больших размеров, т.к. ветроагрегат может преобразовать только часть потенциальной энергии, определяемой коэффициентом использования энергии ветра  $\xi$ . При этом частота вращения ветроколеса должна регулироваться из-за непостоянства скорости ветра во времени и вырабатываемая мощность, изменяясь пропорционально третьей степени скорости ветра, будет иметь большую амплитуду колебаний.

Мощность, развиваемая ветроколесом, определяется как кинетическая энергия ветра, действующая в единицу времени, с учетом коэффициента ее использования, Вт:

где  $\xi$  – коэффициент использования энергии ветра;

$v$  – скоростью воздушного потока;

$A$  – поверхность, ометаемая крыльями ветроколеса:

где  $D$  – диаметр ветроколеса.

При плотности воздуха  $\rho=1,23$  кг/м<sup>3</sup> мощность, развиваемую ветро-колесом, можно определить по выражению, кВт

мощность, развиваемая с единицы ометаемой площади, кВт/м<sup>2</sup>.

Таким образом, мощность, развиваемая ветроколесом, определяется ометаемой площадью ветроколеса, скоростью ветра и величиной коэффициента использования энергии ветра.

Контрольные вопросы

1. В чем отличие удельной мощности ветроколеса от мощности ветроколеса, измеряемой в Ваттах?
2. Каким образом влияет плотность воздуха на величину вырабатываемой мощности ветроустановки?

### **Тема 11. Понятие ветроэнергетики. Характеристики ветровых потоков.**

Ветродвигателями называются двигатели преобразующие энергию ветрового потока в механическую или электрическую энергию. Непостоянство и разреженность этой энергии обуславливают конструктивные особенности ветродвигателей: наличие приспособлений, обеспечивающих возможность работы двигателя на высоких скоростях ветра, с некоторой, примерно постоянной, мощностью, и ограничивающих число оборотов ветроколеса; относительная громоздкость ветродвигателей.

Комплекс научных и практических вопросов использования энергии ветра с помощью ветродвигателей составляет техническую дисциплину - ветротехнику.

Основная задача ветротехники состоит в создании ветродвигателей и ветроустановок, способных вырабатывать удобную для применения энергию и работать с высоким коэффициентом использования энергии ветра.

Ветроэнергетика может быть разделена на следующие части:

- теория и экспериментальные исследования ветродвигателей;
- проектирование ветродвигателей;
- изучение структуры и энергии ветрового потока;
- монтаж и рациональная эксплуатация ветроустановок.

Важнейшим разделом ветроэнергетики является теория и экспериментальные исследования ветродвигателей, базирующиеся на аэродинамике – науке, изучающей движение воздуха и исследующей действие воздуха на соприкасающиеся с ним тела. Аэродинамика в свою очередь подразделяется на теоретическую и экспериментальную.

Теоретическая аэродинамика основана на законах механики, применяемых к газообразным телам; экспериментальная – на результатах опытных исследований, проводимых в аэродинамических трубах и в природных условиях.

Основной причиной возникновения ветра является неравномерное нагревание солнцем земной поверхности.

Неравномерное распределение тепла между различными участками земли обуславливает циркуляционное движение воздуха земной атмосферы. Неоднородность земной поверхности (суша, океаны, горы, леса) обуславливает различное нагревание поверхности под одной и той же широт. Вращение Земли также вызывает отклонения воздушных течений.

Структура ветрового потока за наблюдаемый промежуток времени характеризуется следующими показателями:

- средней скоростью ветра;
- порывистостью ветра;
- изменчивостью ветра;
- длительностью провалов и подъемов скоростей ветра выше или ниже среднего значения.

Средняя скорость ветра определяется как средняя арифметическая величина, полученная из ряда мгновенных скоростей ветра, измеренных через равные интервалы в изучаемом промежутке времени

Скорость ветра классифицируется метеослужбами по исторически сложившейся шкале Бофорта, в основе которой лежат визуальные наблюдения. Метеоданные о направлении ветра обычно представляют в виде розы ветров, показывающей среднюю скорость ветра в различных направлениях.

Средние скорости ветра существенно меняются в течение суток, месяца и сезона. В соответствии с этим различают суточный, месячный, сезонный и годовой ход скорости ветра.

### **Контрольные вопросы**

1. В чем состоит основная задача ветротехники?
2. Что называется ветродвигателем?
3. На чем основывается аэродинамика как наука?

## **Тема 12. Классификация ветродвигателей по принципу их работы.**

Классификация ВЭУ в разных литературных источниках осуществляется по различным признакам или их сочетаниям, например по мощности, расположению оси вращения, количеству лопастей, системам передачи мощности, способам управления моментом и мощностью, быстротходности, режимам работы и т.д.

Одним из вариантов классификации, оказывающей значительное влияние на выбор генераторов, является классификация в зависимости от мощности ВЭУ относительно полной мощности энергосистемы, к которой они подключены. В этом случае ВЭУ подразделяются на 3 класса (А, В и С).

Ветромеханические установки, как правило, имеют небольшую мощность и преобразованную энергию ветрового потока передают непосредственно на исполнительный орган или рабочую машину.

Автономные установки не связаны с энергосистемами и предназначены для выдачи электрической энергии только на связанные с ними объекты. Как правило, мощность автономных ветроэлектрических установок не превышает 100 кВт.

Существующие системы ветродвигателей по схеме устройства ветроколеса и его положению в потоке ветра разделяются на три класса.

Первый класс включает ветродвигатели, у которых ветроколесо располагается в вертикальной плоскости: при этом плоскость вращения перпендикулярна направлению ветра и, следовательно, ось ветроколеса параллельна ветровому потоку. Такие ветродвигатели называются крыльчатыми.

Второй класс включает системы ветродвигателей с вертикальной осью вращения ветрового колеса. По конструктивной схеме они разбиваются на две группы:

- карусельные ветродвигатели, у которых нерабочие лопасти либо прикрываются ширмой, либо располагаются ребром против ветра;
- роторные ветродвигатели системы Савониуса.

К третьему классу относятся ветродвигатели, работающие по принципу водяного мельничного колеса и называются барабанными. У этих ветродвигателей ось вращения горизонтальна и перпендикулярна направлению ветра.

Чем меньше количество лопастей у ветроколеса, тем выше его быстротходность и соответственно большее значение коэффициента использования энергии ветрового потока.

Ветроэлектрические установки по значению единичной мощности подразделяются на установки малой мощности с  $P_n$  до 20 кВт, средние – с  $P_n$  от 20 до 300 кВт, большой – с  $P_n$  свыше 300 кВт. В некоторых работах рекомендуется ветроэлектрические установки по мощности подразделять на

мини – с  $P_n$  до 1 кВт, малой – с  $P_n$  до 100 кВт, средней – с  $P_n$  до 1 МВт и крупные –  $P_n$  свыше 1 МВт.

Ветроэлектрические установки малой мощности могут быть использованы для зарядки аккумуляторных батарей, питания сигнальных огней, освещения малых изолированных объектов и т.д. Кроме ветроэлектрических установок предназначенных для выработки электроэнергии, также выпускаются ветромеханические установки для подъема и подачи воды, где вместо генераторов электрической энергии используются различные насосы.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит отличие трех систем ветродвигателей классифицируемых по схеме устройства ветроколеса и его положению в потоке ветра?
2. На какие показатели влияет изменение количества лопастей у ветроколеса?

### **Тема 13. Конструкция ветроустановок.**

Наибольший прогресс в конструировании, производстве и эксплуатации ВЭУ средней мощности достигнут в Дании. ВЭУ средней мощности датского производства эксплуатируются или же намечаются к строительству во многих странах мира. Необходимо отметить, что преимущественно выпускаются ВЭУ с единичной мощностью 45-55 кВт с ветроколесами диаметром 14-16 м и башнями высотой 18-20 м.

Основными в конструкции ВЭУ этого класса являются следующие элементы.

На фундаменте устанавливается башня высотой несколько десятков метров, которая обычно выполняется в виде конической трубы состоящей из нескольких секций длиной 6-8 м. На верхней части башни на поворотной платформе смонтирована головка ВЭУ, в которой установлены основные механизмы: вал ветроколеса со ступицей, несущей лопасти; редуктор; генератор электрической энергии; механизмы установки на ветер и механизмы управления и безопасности.

Следовательно, основными элементами ветроустановок являются:

- **ветроколесо** (лопасти, установленные в ступице);
- **поворотная платформа** (гондола), в которой размещаются вал ветроколеса, редуктор, генератор электрической энергии, механизмы установки на ветер и механизмы управления и безопасности;
- **башня**.

Лопастей ветродвигателя изготавливается из особо прочных и легких материалов и имеют очень сложный аэродинамический профиль. В некоторых конструкциях на каждой лопасти имеется тормозной поворотный конец.

Отдельные ВЭУ имеют генераторы электрической энергии с двумя обмотками, каждая из которых включается на определенную скорость ветра.

В ВЭУ лучшие результаты дает использование турбин с переменной частотой вращения по сравнению с постоянной. При этом будет: лучшее использование энергии ветра при малых скоростях; большая производительность, благодаря отсутствию непосредственной связи частоты ротора и энергии, отдаваемой в электрическую сеть; уменьшаются механические нагрузки на привод, опору ВЭУ и фундамент, и, следовательно, снижается стоимость ВЭУ; ротор с переменной частотой вращения производит меньший шум, чем ротор с постоянной частотой вращения.

Установки подключаются к электрической сети при помощи тиристоров и имеют надежную микропроцессорную систему контроля и управления, что обеспечивает высокую надежность и эффективность и больший срок службы.

Контрольные вопросы

1. Что относится к основным элементам ветроустановок?
2. По какой причине турбины с постоянной частотой вращения хуже, чем с переменной?

#### **Раздел 4. Гидравлическая энергия.**

##### **Тема 14. Основы гидравлической энергии.**

Возможными источниками гидроэнергии являются: малые реки; ручьи; озерные водосбросы; оросительные, питьевые, технологические водотоки; продуктоводы предприятий; водосбросы ТЭЦ; промышленные и канализационные стоки.

Чтобы использовать водную энергию, необходимо на данном участке реки построить гидросиловую установку, в которой водная энергия преобразовывалась бы в механическую работу, а затем в электрическую энергию. Для использования энергии данного участка реки необходимо искусственно сконцентрировать падение реки в одном каком-либо месте (створе), т.е. создать разность уровней воды – **напор**. В зависимости от того, каким способом создается напор, различают следующие схемы гидроустановок:

1. **Плотинная** – при которой весь напор создается плотиной;
2. **Деривационная** – при которой напор создается деривационными сооружениями;
3. **Смешанная** – при которой напор создается и плотиной и деривационными сооружениями.

Преимущества гидроэлектростанций по сравнению с другими типами электростанций:

- постоянное беззатратное возобновление энергоресурсов;
- высокая маневренность;
- комплексное использование водных ресурсов;
- отсутствие загрязняющих атмосферу выбросов;
- экономия топлива.

Прежде, чем попасть в турбину, вода должна пройти различные оградительные и направляющие сооружения, сороудерживающие решетки, трубопроводы, подводящую камеру. В этих сооружениях часть энергии потока теряется на преодоление сопротивлений. Подлежащая использованию в турбине энергия определяется как разность энергии потока при входе в турбинную камеру и в нижнем бьефе. Эта удельная энергия называется **полезным рабочим напором**.

Мощность потока, соответствующая этому напору, кВт:

$$N_{\pi} = 9,81 \cdot Q \cdot H$$

где  $H$  – напор, м;

$Q$  – подача, м<sup>3</sup>/с.

При работе ГЭС с постоянной мощностью с течением времени  $t$  (ч), выработка электроэнергии составит, кВт·ч:

$$W = N \cdot t$$

Контрольные вопросы

1. В чем отличие друг от друга плотинной и деривационной схем гидроустановок?
2. От каких параметров зависит количество выработанной электроэнергии ГЭС?

### **Тема 15. Определения потенциальных, технических и экономических ветро-энергоресурсов**

Ветроэнергетические установки преобразует в электрическую энергию только часть кинетической энергии ветрового потока. Степень преобразования зависит от технических характеристик ветроэнергетических установок и в частности от численного значения коэффициента использования энергии ветра, а также от коэффициентов полезного действия передачи и генератора электрической энергии.

Отношение энергии, воспринятой ветроколесом, к полной энергии, которой обладает воздушный поток, называется коэффициентом использования энергии ветра. Значение коэффициента использования энергии ветра определяется для конкретных ветроэнергетических установок согласно аэродинамической характеристике ветродвигателя. Коэффициент использования энергии ветра зависит от величины потери скорости ветра при прохождении его через плоскость ветроколеса. В зависимости от технического совершенства он лежит в пределах от 0,20 до 0,45.

Направление ветра необходимо учитывать при сооружении многоагрегатных ветроэнергетических станций (ВЭС). Для одиночных ветроэнергетических установок это условие необязательно.

Возможное годовое производство электрической энергии определено выражением:

$$W_{\text{год}} = \sum_n^m P_i \cdot t_i + \sum_k^1 P_n \cdot t_j \quad (16)$$

где  $(n, m)$  - градации скорости ветра меньше расчетной и находящейся в пределах  $v_{\text{на}} < v < v_p$  ;

$P_i$  – мощность ветрового потока, соответствующая скорости ветра  $v_i$ , меньше расчетной;

$t_j$  – время, соответствующее скоростям ветра, находящимся в пределах  $v_p \leq v < v_{\text{max}}$ ;

$(k, 1)$  – градация скоростей ветра, соответствующая отношению  $v_p \leq v < v_{\text{max}}$ ;

$P_n$  – расчетная или номинальная мощность.

Одним из основных параметров ветроустановок следует считать численные значения начальной, расчетной и максимальной скоростей ветра. Начальная скорость определяет скорость ветра, при которой ветроустановка начинает вырабатывать электрическую энергию, а максимальная скорость – скорость, при которой заканчивается процесс выработки электрической энергии. Скорость ветра является определяющим параметром, который прямо влияет на мощность и производство электроэнергии ветроустановками.

Расчетную скорость ветроустановки можно определить, исходя из следующих условий:

- 1) получение максимального значения вырабатываемой энергии;
- 2) максимальное время работы в течение года или другого промежутка времени с возможностью максимального использования установленной мощности.

Воздушный поток, как и всякое движущееся тело, обладает кинетической энергией. Одним из видов использования кинетической энергии является превращение ее в механическую работу.

Кинетическая энергия  $E_g$  воздушного потока, имеющего скорость  $v$ , определяется по выражению:

$$E_g = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (17)$$

где  $m$  – масса движущегося воздушного потока;

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot v \cdot F \quad (18)$$

где  $V$  – объем массы воздуха, протекающего за секунду через сечение  $F$  со скоростью  $v$ .

Количество энергии ветра, протекающего за 1 с через поперечное сечение:

$$E_{\text{в}} = \rho \cdot \frac{v^3 \cdot F}{2} \quad (19)$$

Энергия ветра изменяется пропорционально кубу его скорости и поперечного сечения.

Отличительным свойством ветра является его повсеместность. Однако техническое использование энергии ветра во многих случаях крайне затруднено из-за низкой плотности воздуха (она в 800 раз меньше плотности воды). Для получения значительной мощности необходимо ветроколесо очень больших размеров, т.к. ветроагрегат может преобразовать только часть потенциальной энергии, определяемой коэффициентом использования энергии ветра  $\xi$ . При этом частота вращения ветроколеса должна регулироваться из-за непостоянства скорости ветра во времени и вырабатываемая мощность, изменяясь пропорционально третьей степени скорости ветра, будет иметь большую амплитуду колебаний.

Расчетная мощность ветроэлектрических установок определяется выражением, кВт:

$$P_p = 0,48 \cdot 10^{-3} \cdot D^2 \cdot v_p^3 \cdot \varepsilon \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\Pi} \quad (20)$$

### Контрольные вопросы

1. От чего зависит величина коэффициента использования энергии ветра?
2. В чем отличие между собой начальной, расчетной и максимальной скоростей ветра?
3. От каких параметров зависит мощность ветроэлектрических установок?

### Тема 16. Микро и мини гидроэлектростанции.

Гидроэлектростанции являются высокорентабельными и долговечными источниками электроснабжения народного хозяйства. Они отличаются надежностью в работе и низкой стоимостью вырабатываемой Электроэнергии. При работе в энергосистеме имеют высокую маневренность, готовность немедленно принимать нагрузку, а также покрывать пики электропотребления и выравнивание графиков нагрузки энергосистемы. Но при всех достоинствах ГЭС они имеют высокие затраты на ремонтные работы, а также при их проектировании происходит изъятие сельскохозяйственных угодий при создании больших водохранилищ.

Энергетический агрегат ГЭС состоит из гидротурбины с автоматическим регулятором, непосредственно соединенного с ней

гидрогенератора и вспомогательного оборудования, необходимого для обеспечения нормальной работы гидроагрегата.

Гидравлической (или водяной) турбиной называется двигатель, использующий механическую энергию воды посредством изменения момента, количества движения относительно оси вращения рабочего колеса.

Гидротурбины и гидроагрегаты разрабатываются и изготавливаются различными заводами, но конструируются как элементы единого гидроагрегата. Это дает возможность создать надежный агрегат с высокими энергетическими и эксплуатационными показателями.

На ГЭС потенциальная энергия воды преобразуется в энергию вращения турбины. Турбина соединена с генератором, который преобразует энергию движения в электрическую энергию. Эффект ГЭС прямо пропорционален количеству воды, которая проходит через турбину и высоте падения воды, поэтому ГЭС часто устанавливают в горах. При малых и средних высотах падения воды (около 50-60 м) используются клапан-турбины с регулируемыми турбинными лопатками.

Контрольные вопросы

1. В чем состоят основные особенности ГЭС от других видов электростанций?
2. Из каких основных частей состоит энергетический агрегат ГЭС?

### **Тема 17. Биотопливо.**

**Биомасса** – это отходы животноводства, сельскохозяйственного производства, твердые бытовые отходы и осадки городских сточных вод.

**Биогазовые технологии** – это экологически чистый безотходный способ переработки, утилизации и обезвреживания разнообразных органических отходов растительного или животного происхождения.

Биомасса в качестве источника энергии имеет ряд преимуществ:

- возобновляемость;
- при сжигании ее выделяется менее 0,1% серы и от 3 до 5 % золы;
- после сепарации биомассы биогенные вещества (азот, фосфор, калий) возвращается в почву в виде удобрений.

Стабильным источником биомассы для производства энергии в Казахстане являются отходы продуктов животноводства. За счет их переработки может быть получено примерно 2 млн. тонн условного топлива в год биогаза.

В качестве исходных материалов могут быть использованы трава, солома, навоз. Для выделения некоторого количества биогаза требуется определенная продолжительность процесса сбраживания. Причем выход газа сначала резко увеличивается, потом, по достижении максимума, резко снижается. Трава, содержащая много белковых веществ, быстрее сбраживается и дает больше газа, чем солома и экскременты (из-за значительной доли лигнина).

В результате брожения из 1 тонны органического вещества (по сухой массе) получается 350...600 м<sup>3</sup> биогаза. К.п.д. превращения энергии органических веществ в биогаз 80...90 %.

Биогаз успешно применяется как топливо. Его можно сжигать в горелках отопительных установок, водогрейных котлов, газовых плит, использовать в холодильных установках абсорбционного типа, в инфракрасных излучениях, в автотракторных двигателях и т.д. Карбюраторные двигатели легко переводятся на газ: достаточно лишь заменить карбюратор на смеситель. Мощность двигателей уменьшается при переводе с дизельного топлива на природный газ почти на 20%, с природного на биогаз – на 10%. Но при работе на биогазе двигатель меньше изнашивается, чем при работе по газодизельному циклу.

При производстве электроэнергии из биогаза в электрический ток преобразуется всего 30% его энергоресурса, остальная часть – отбросная теплота. Ее можно использовать при нагревании воды для бытовых нужд и содержания скота, отопления жилых помещений и теплиц, подогрева воздуха для сушилок и т.д.

Биогаз можно применять а абсорбционных установках для охлаждения молока. Его расход в холодильниках такого типа на 50% выше, чем в компрессорных.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается принципиальное отличие биогазовой технологии от солнечной или ветровой?
2. В чем недостатки биогаза при использовании его в качестве топлива?

### **Тема 18. Энергия биогаза.**

Наиболее распространенный способ получения биогаза – анаэробное (без доступа кислорода) сбраживание биологической массы (экскрементов, навоза, отходов сельскохозяйственного производства). Процесс протекает при участии разнообразных микроорганизмов и в определенной последовательности.

На первом этапе анаэробного сбраживания органических веществ путем биохимического расщепления (гидролиза) высокомолекулярные соединения (углеводы, жиры, белковые вещества) разлагаются на низкомолекулярные. На втором этапе при участии кислотообразующих бактерий происходит дальнейшее разложение с образованием органических кислот и их солей, а также спиртов, углекислого газа (CO<sub>2</sub>) и водорода (H<sub>2</sub>), а затем сероводорода (H<sub>2</sub>S) и аммиака (NH<sub>3</sub>). Окончательно органические вещества преобразуются в углекислый газ и метан (CH<sub>4</sub>) на третьем этапе (метановое брожение). В дальнейшем из CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub> образуется дополнительное количество CH<sub>4</sub> и воды (H<sub>2</sub>O).

На выход газа влияют конструкция установки, загрузка рабочего пространства (количество органической массы, приходящейся на единицу времени и единицу объема реактора), продолжительность цикла брожения (время пребывания закладываемой органической массы), интенсивность перемешивания массы.

В зависимости от технологической схемы различают биогазовые установки непрерывные, периодические и аккумулятивные.

При непрерывной (проточной) схеме субстрат загружают в камеру сбраживания непрерывно или через определенные промежутки времени (2–10 раз в сутки), удаляя такое же количество сброженной массы. При соблюдении всех условий сбраживания такая схема позволяет получать максимальный выход биогаза, но на ее внедрение требуются большие материальные расходы.

При периодической схеме камеры сбраживания (их обычно две) загружают по очереди. При этом свежий субстрат смешивают с остатками сброженного навоза. Газ начинает образовываться по истечении 5–10 суток и при достижении максимального количества постепенно снижается до минимума. Затем шлам выгружают и камеры снова загружают субстратом. Такой способ трудоемок, и газ выделяется неравномерно. Для равномерного получения биогаза необходимо камеры, работающие попеременно, соединить. Данную схему можно использовать в основном при сбраживании твердых органических материалов, например подстилочного навоза.

При аккумулятивной схеме сбраживания хранилище для перебродившей массы навоза играет одновременно роль камеры сбраживания. Такую схему применяют в основном при обработке сточного навоза.

Биогазовые установки состоят из камеры сбраживания (реактора, ферментатора, метантенка), нагревательного устройства (теплообменника), устройства для перемешивания субстрата и газгольдера.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные этапы получения биогаза из биомассы?
2. В чем отличие друг от друга непрерывных, периодических и аккумулятивных биогазовых установок?

## **ПЛАНЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

### **Практическое занятие 1**

**Тема:** Определение времени истинного солнечного полдня

**Цель:** Изучить геометрию движения Земли и Солнца

**План:**

- 1 Видимое движение Солнца по небосводу и обращение Земли вокруг Солнца

2 Расчет декретного и истинного солнечного времени для любой точки земной поверхности

Видимое движение Солнца по небосводу обусловлено суточным вращением Земли вокруг своей оси (за 24 ч). Суточные изменения траектории движения от дня ко дню вызываются годичным вращением Земли вокруг Солнца (за 365 дней). Для многих целей проектирования необходимо учитывать положение Солнца на определенный день и час.

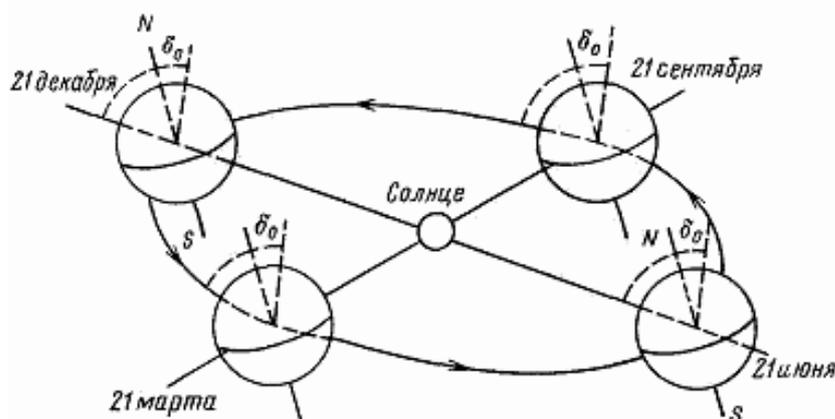


Рисунок 1 - Схема вращения Земли вокруг Солнца (сплошная линия на поверхности Земли – экватор)

Ось Земли наклонена по отношению к плоскости эклиптики, которая проходит через Солнце и экватор, на  $23.5^{\circ}$ . Этот наклон обуславливает изменение количества приходящей радиации, продолжительности дня и смену сезонов. Если бы ось составляла с плоскостью эклиптики прямой угол, то на протяжении всего года на Земле наблюдались бы одинаковые условия.

Видимое движение Солнца по небосводу можно наблюдать ежедневно; оно проходит через зенит (высота  $90^{\circ}$ ) в полдень на экваторе 21 сентября и 21 марта (дни равноденствий, т.е. когда продолжительность дня и ночи равны), 21 июня (летнее солнцестояние) – через тропик Рака ( $23.5^{\circ}$  с.ш.), а 21 декабря (зимнее солнцестояние) – через тропик Козерога ( $23.5^{\circ}$  ю.ш.). Это происходит также благодаря наклону оси вращения Земли на  $23.5^{\circ}$ .

Дни равноденствий существуют на всех широтах, и в эти дни Солнце встает точно на востоке и садится точно на западе. В северном полушарии продолжительность дня возрастает от декабря к июню и уменьшается от июня к декабрю, в южном – наоборот.

Угол между линией Земля – Солнце и плоскостью эклиптики известен как угол склонения. Угол склонения меняется с изменением даты, меняется и орбитальная скорость Земли, перемещающейся по эллипсу вокруг Солнца. Таким образом, часы, идущие равномерно, покажут время, несколько отличающееся от истинного солнечного времени, определенного, например, по солнечным часам.

**КГКП КОСТАНАЙСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЫСШИЙ КОЛЛЕДЖ  
УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АКИМАТА КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ**

Положительная или отрицательная поправка известна как уравнение времени, т.е. величина, которую нужно добавить или вычесть из среднего солнечного времени, показываемого равномерно идущими часами, чтобы получить истинное солнечное время (т.е. время, когда наступает полдень и Солнце находится точно на юге). В таблице 1 приведены месячные изменения угла склонения Солнца и уравнение времени.

Таблица 1 - Месячные колебания угла склонения Солнца и уравнение времени

Дата	Угол склонения Солнца	Уравнение времени
21 декабря	- 23 <sup>0</sup> 27'	+ 1' 32''
15 января	- 21 <sup>0</sup> 17'	- 9' 00''
15 февраля	- 12 <sup>0</sup> 58'	- 14' 30''
15 марта	- 2 <sup>0</sup> 23'	- 9' 30''
21 марта	000	- 7' 19''
15 апреля	+ 9 <sup>0</sup> 33'	-0' 30''
15 мая	+18 <sup>0</sup> 44'	+ 4' 00''
15 июня	+23 <sup>0</sup> 17'	0 00
21 июня	+23 <sup>0</sup> 27'	- 1' 48''
15 июля	+21 <sup>0</sup> 37'	- 5' 30''
15 августа	+14 <sup>0</sup> 15'	- 4' 30''
15 сентября	+ 3 <sup>0</sup> 17'	+ 4' 30''
21 сентября	000	+ 7' 30''
15 октября	- 8 <sup>0</sup> 18'	+ 14' 00''
15 ноября	-18 <sup>0</sup> 20'	+ 15' 30''
15 декабря	-23 <sup>0</sup> 15'	+ 5' 00''

Еще одна поправка вводится, чтобы перейти от времени, показываемого часами в конкретном пункте, к среднему солнечному времени в этом же пункте. Земной шар делится на временные пояса, в каждом из которых имеется центральная долгота, от которой ведется отсчет времени и на которой среднее солнечное время и время на часах совпадают. Для любой местности к востоку или западу от этой центральной долготы в пределах данного часового пояса в показаниях часов необходимо вводить поправку, равную 4 мин на 1<sup>0</sup> долготы (так как время полного оборота Земли вокруг оси (360<sup>0</sup>) составляет 24 часа). Если местности находится к западу от центральной долготы, эта величина должна прибавляться к времени на часах, чтобы получить местное среднее солнечное время, а если к востоку, то вычитываться. Если проводится перевод часов на летнее или зимнее время, то необходимо учитывать среднее солнечное время для центрального меридиана.

**Пример 1.** Определить для заданных точек А и Б полдень по истинному солнечному времени

**Исходные данные.** Заданы точки А и Б с координатами  $\varphi = 50^0$  с.ш. и  $\psi_A = 65^0$  и  $\psi_B = 70^0$  в.д.

Рассчитать время, которое должны показывать часы 15 января в полдень по истинному солнечному времени.

**Решение**

Определяем часовой меридиан точек А и Б, т.е. долгота от которой отсчитывается время в указанных точках:

$$\psi_0 = (\psi_{\min} + \psi_{\max})/2 = (60 + 75) / 2 = 67,5^0$$

Определяем время, которое показывают часы, опережая среднее гринвичское время:

$$t_{\text{гр}} = \psi_0 (4/60) = 67,5^0 (4/60) = 4,5 \text{ ч}$$

Местное среднее солнечное время отличается от времени показываемого часами:

для точки А

$$t = 4 \cdot (\psi_0 - \psi_A) = 4 \cdot (67,5^0 - 65^0) = 10 \text{ мин}$$

для точки Б

$$t = 4 \cdot (\psi_0 - \psi_B) = 4 \cdot (67,5^0 - 70^0) = 10 \text{ мин}$$

Величина поправки согласно таблицы 1 для 15 января:

$$t_{\text{попр}} = - 9 \text{ мин}$$

Полдень по местному среднему солнечному времени наступает:

$$t_{\text{пд}} = 12 + t = 12 \text{ ч} + 10 \text{ мин} = 12 \text{ ч} 10 \text{ мин}$$

Полдень по истинному солнечному времени приходится (которое показывают часы):

для точки А

$$t_{\text{ист. солн}} = t_{\text{пд}} + t_{\text{попр}} = 12 \text{ ч} 10 \text{ мин} + 9 \text{ мин} = 12 \text{ ч} 19 \text{ мин}$$

для точки Б

$$t_{\text{ист. солн}} = t_{\text{пд}} - t_{\text{попр}} = 12 \text{ ч} 10 \text{ мин} - 9 \text{ мин} = 12 \text{ ч} 01 \text{ мин}$$

**Контрольные вопросы**

1. Дать понятие часовых поясов.
2. Что называется склонением и его изменением?
3. Дать понятие нулевого меридиана.
4. Характеристика дней солнечного равноденствия.
5. Характеристика дней летнего и зимнего солнцестояния.
6. Что называется уравнением времени?

**Литература**

1. Мак-Вейг Д. Применение солнечной энергии: перевод с англ. под ред. Б.В. Тарнижевского. – М. Энергоиздат, 1981. стр.114-129.

2. Расчет систем солнечного теплоснабжения: перевод с англ. – У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи – М. Энергоиздат, 1982. стр. 45-56.

## Практическое занятие 2

**Тема:** Расчет склонения Солнца, часового угла и продолжительности светового дня

**Цель:** Изучить геометрию движения Земли и Солнца

**План:**

- 1 Видимое движение Солнца по небосводу и обращение Земли вокруг Солнца
- 2 Определение основных характеристик расположения точек на земной поверхности

Для расчетов количества поступающей солнечной энергии необходимо знать углы падения солнечных лучей на наклонную и горизонтальную поверхности в данной точке. Положение некоторой точки  $A$  на земной поверхности определяется тремя основными углами – широтой  $\varphi$ , склонением  $\delta$  и часовым углом  $\omega$  (рисунок 2а).

Широта  $\varphi$  – это угол между линией, соединяющей точку  $A$  с центром Земли и ее проекцией на плоскость экватора.

Часовой угол  $\omega$  – это угол, измеренный в экваториальной плоскости между проекцией линии  $AO$  и проекцией линии, соединяющей центры Земли и Солнца. Угол  $\omega = 0$  в солнечный полдень (при совпадении декретного и солнечного времени).

Склонение Солнца  $\delta$  – это угол между линией, соединяющей центры Земли и Солнца, и ее проекцией на плоскость экватора.

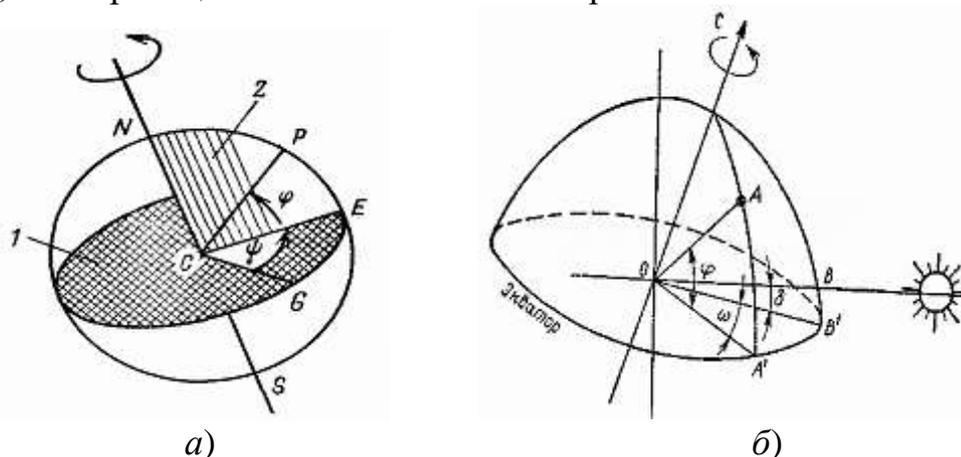


Рисунок 2 – Схема определения широты  $\varphi$  и долготы  $\psi$ :  
1 - экваториальная плоскость; 2 – меридиальная плоскость

На рисунке 2,б изображена Земля. Она обращается за 24 ч вокруг своей оси, которая обозначена точками северного и южного полюсов  $N$  и  $S$ . Ось перпендикулярна экваториальной плоскости Земли. На рисунке точка  $C$  –

центр Земли. Точка Р на поверхности Земли характеризуется широтой  $\varphi$  и долготой  $\psi$ . Величина  $\varphi$  положительна для точек, лежащих севернее экватора, отрицательна – для точек южнее экватора. Долгота  $\psi$  положительна к востоку от Гринвича (Великобритания). Вертикальная плоскость, построенная с севера на юг через точку Р – локальная меридиальная плоскость. Точки Е и G на рисунке 2, б – точки на экваторе, имеющие те же долготы, что и точка Р и Гринвич соответственно.

Один раз каждые 24 ч Солнце попадает в меридиальную плоскость. Это – полдень по солнечному времени для всех точек, имеющих данную долготу. Полдень по солнечному времени не обязательно совпадает с двенадцатью часами, поскольку часы показывают так называемое *декретное время*, установленное единым для больших пространств местности в пределах  $15^\circ$  долготы, называемых часовыми поясами. Перевод часов на “летнее время” означает, что солнечное и декретное время могут различаться более чем на 1 ч. Более того, эллиптичность земной орбиты приводит к тому, что период между солнечными полднями составляет не точно 24ч, хотя в среднем этот интервал составляет 24,0000 ч. Поправка не превышает 15 мин. Часовой угол  $\omega$  в точке Р есть угол, на который Земля поворачивается с момента солнечного полдня. Так как Земля поворачивается на  $(360^\circ/24 \text{ ч}) = 15^\circ$  за 1 ч, то часовой угол определяется выражением:

$$\omega = (15^\circ \text{ч}^{-1}) \cdot (t_{\text{solar}} - 12 \text{ ч}) = (15^\circ \text{ч}^{-1}) \cdot (t_{\text{zone}} - 12 \text{ ч}) + \omega_{\text{eq}} + (\psi_0 - \psi_{\text{zone}}), \quad (1)$$

где  $t_{\text{solar}}$  и  $t_{\text{zone}}$  – соответственно локальное солнечное и декретное время, (в часах);

$\psi_0$  – долгота, на которой находится Солнце, когда  $t_{\text{zone}}$  соответствует полдню (когда солнечное и декретное время совпадают).

Малым поправочным членом  $\omega_{\text{eq}}$  чаще всего можно пренебречь. Согласно (1) угол  $\omega$  положителен вечером и отрицателен в утренние часы.

Земля вращается вокруг Солнца за год. Направление земной оси остается фиксированным в пространстве под углом  $\delta_0 = 23,5^\circ$  к нормали к плоскости вращения (рисунок 3).

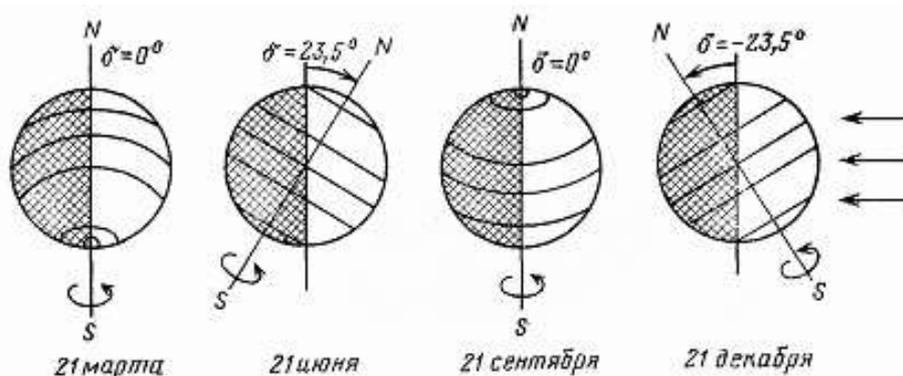


Рисунок 3 – Схема освещения поверхности Земли солнечным

излучением в различные времена года (стрелками указан поток  
солнечного излучения)

Угол между направлением к Солнцу и экваториальной плоскостью называется склонением  $\delta$  и является мерой сезонных изменений. Мысленно проведем линию от центра Земли до Солнца, пересекающую поверхность Земли в точке Р на рисунок 2, б. В этом случае  $\delta$  представляет собой угол  $\varphi$  на рисунке 2. Таким образом склонение есть широта точки, для которой Солнце находится в зените в полдень по солнечному времени. Как следует из рисунка 3, в северном полушарии  $\delta$  плавно меняется от  $\delta_0 = +23,5^\circ$  в период летнего солнцестояния до  $\delta_0 = -23,5^\circ$  в период зимнего солнцестояния. Оно равно нулю в дни весеннего и осеннего равноденствия. Аналитически получено (формула Купера)

$$\delta = \delta_0 \cdot \sin [360^\circ \cdot (284 + n) / 365], \quad (2)$$

где  $n$  – день года ( $n=1$  соответствует 1 января).

Продолжительность дня между восходом и закатом Солнца определяется следующим образом:

$$T_c = (2|15) \cdot \cos^{-1}(-\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta). \quad (3)$$

На широте  $48^\circ$ , например,  $T_c$  меняется от 16 ч в период летнего солнцестояния до 8 ч в период зимнего солнцестояния.

В полярных широтах ( $|\varphi| > 66,5^\circ$ ) значение  $|\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta|$  близко к единице. В этих случаях  $T_c = 24$  ч (летом) или  $T_c = 0$  (зимой) (см. рисунок 4).

Склонение Солнца  $\delta$ , продолжительность светового дня  $T_c$  и время захода (восхода) Солнца можно также определить при помощи номограммы, приведенной на рисунке 4.

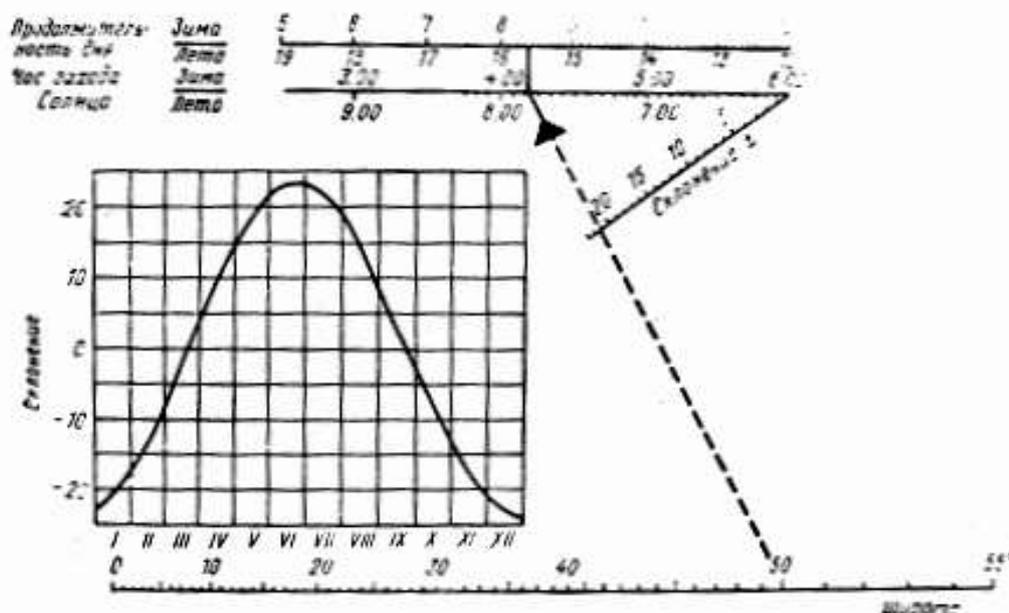


Рисунок 4 – Определение склонения Солнца  $\delta$ , продолжительности светового дня  $T_c$  и время захода (восхода)

**Пример 2.** Расчет склонения Солнца -  $\delta$ , часового угла Солнца -  $\omega$ , продолжительности солнечного сияния в течение суток -  $T_c$  в точке А с координатами (широта -  $\varphi$ , долгота -  $\psi$ ) в рассматриваемые сутки года.

**Исходные данные:** Рассматривается точка с координатами  $\varphi$  и  $\psi$ . Известен номер суток с начала года -  $n$ . Заданы границы часового пояса, в которой находится точка А по долготе ( $\psi_{\min}, \psi_0, \psi_{\max}$ ) при  $\psi_0 = \text{const}$ , где  $\psi_0$  - долгота, по которой зональное (поясное) и декретное время совпадают.

Необходимо рассчитать склонение Солнца, часовой угол Солнца, продолжительность солнечного сияния в течение суток для июля, августа и сентября месяцев для точки А с координатами:

$$\varphi = 52^\circ \text{ с.ш.}; \psi_{\min} = 60^\circ; \psi_0 = 67,5^\circ; \psi_{\max} = 75^\circ$$

### Решение

Определяем склонение Солнца  $\delta$  в указанные месяцы согласно (2):

Июль:

$$\begin{aligned} \delta_7 &= \delta_0 \sin [360^\circ (284 + n)/365] = 23,45 \sin [360^\circ (284 + 196/365)] = \\ &= 23,45 \sin [473] = 21,6^\circ \end{aligned}$$

Август:

$$\begin{aligned} \delta_8 &= \delta_0 \sin [360^\circ (284 + n)/365] = 23,45 \sin [360^\circ (284 + 227/365)] = \\ &= 23,45 \sin [504] = 13,8^\circ \end{aligned}$$

Сентябрь:

$$\begin{aligned} \delta_9 &= \delta_0 \sin [360^\circ (284 + n)/365] = 23,45 \sin [360^\circ (284 + 258/365)] = \\ &= 23,45 \sin [535] = 2,2^\circ \end{aligned}$$

Определяем продолжительность светового дня  $T_c$  согласно (3):

Июль:

$$\begin{aligned} T_{c7} &= (2|15)\cos^{-1}(-\text{tg } \varphi \cdot \text{tg } \delta) = (2|15)\cos^{-1}(-\text{tg } 52^\circ \cdot \text{tg } 21,6^\circ) = \\ &= (2|15)\cos^{-1}(-1,28 \cdot 0,4) = 16,1 \end{aligned}$$

Август:

$$\begin{aligned} T_{c8} &= (2|15)\cos^{-1}(-\text{tg } \varphi \cdot \text{tg } \delta) = (2|15)\cos^{-1}(-\text{tg } 52^\circ \cdot \text{tg } 13,8^\circ) = \\ &= (2|15)\cos^{-1}(-1,28 \cdot 0,25) = 14,5 \end{aligned}$$

Сентябрь:

$$\begin{aligned} T_{c9} &= (2|15)\cos^{-1}(-\text{tg } \varphi \cdot \text{tg } \delta) = (2|15)\cos^{-1}(-\text{tg } 52^\circ \cdot \text{tg } 2,2^\circ) = \\ &= (2|15)\cos^{-1}(-1,28 \cdot 0,04) = 12,4 \end{aligned}$$

Результаты расчетов заносятся в таблицу 2.

Таблица 2 - Определение склонения Солнца и продолжительности светового дня

Месяц	июль	август	сентябрь
Номер дня месяца	196	227	258
Склонение Солнца, град	21,6°	13,8°	2,2°
Продолжительность светового дня, ч	16,1	14,5	12,4

Определяем часовой угол Солнца с 10 по 18 ч местного времени согласно (1):

$$10 \text{ ч: } \omega_7 = (15^\circ \text{ч}^{-1}) \cdot (t_{\text{zone}} - 12 \text{ч}) + (\psi - \psi_0) = (15^\circ \text{ч}^{-1}) \cdot (10 \text{ч} - 12 \text{ч}) + (70 - 67,5) = -27,5^\circ$$

$$12 \text{ ч: } \omega_7 = (15^\circ \text{ч}^{-1}) \cdot (t_{\text{zone}} - 12 \text{ч}) + (\psi - \psi_0) = (15^\circ \text{ч}^{-1}) \cdot (12 \text{ч} - 12 \text{ч}) + (70 - 67,5) = 2,5^\circ$$

$$14 \text{ ч: } \omega_7 = (15^\circ \text{ч}^{-1}) \cdot (t_{\text{zone}} - 12 \text{ч}) + (\psi - \psi_0) = (15^\circ \text{ч}^{-1}) \cdot (14 \text{ч} - 12 \text{ч}) + (70 - 67,5) = 32,5^\circ$$

$$16 \text{ ч: } \omega_7 = (15^\circ \text{ч}^{-1}) \cdot (t_{\text{zone}} - 12 \text{ч}) + (\psi - \psi_0) = (15^\circ \text{ч}^{-1}) \cdot (16 \text{ч} - 12 \text{ч}) + (70 - 67,5) = 62,5^\circ$$

$$18 \text{ ч: } \omega_7 = (15^\circ \text{ч}^{-1}) \cdot (t_{\text{zone}} - 12 \text{ч}) + (\psi - \psi_0) = (15^\circ \text{ч}^{-1}) \cdot (18 \text{ч} - 12 \text{ч}) + (70 - 67,5) = 92,5^\circ$$

Результаты расчетов занесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Часовой угол Солнца

Местное время, ч	10	12	14	16	18
Часовой угол Солнца $\omega$ , град	-27,5°	2,5°	32,5°	62,5°	92,5°

По результатам таблицы 3 построить зависимость  $\omega = f(t)$ .

#### Контрольные вопросы

1. Годовое движение Земли вокруг Солнца и характерные дни года.
2. Что называется склонением Солнца и как оно определяется?
3. Физический смысл часового угла Солнца.
4. Дневные и месячные изменения численного значения часового угла Солнца.
5. Определение продолжительности солнечного сияния и светового дня.

#### Литература

1. Мак-Вейг Д. Применение солнечной энергии: перевод с англ. под ред. Б.В. Тарнижевского – М. Энергоиздат, 1981. стр. 114-129.
2. Расчет систем солнечного теплоснабжения: перевод с англ. – У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи – М. Энергоиздат, 1982. стр. 45-56.

**Практическое занятие 3.**

**Тема:** Определение времени эффективной работы СТС

**Цель:** Построение кривой годового хода температуры наружного воздуха. Определение продолжительности периода в сутках, в течении которого средняя суточная температура воздуха устойчиво остается ниже или выше заданных температур.

**План:**

- 1 Методика расчета даты устойчивого перехода заданных пределов средней суточной температуры воздуха.
- 2 Расчет времени гарантированной работы системы солнечного теплоснабжения в зависимости от средней суточной температуры воздуха.

Продолжительность и средняя температура воздуха периодов со средней суточной температурой воздуха ниже или выше заданных пределов определяются при помощи графиков. Основанием для построения графиков годового хода температуры воздуха служат данные, приведенные в основной литературе.

Первоначально строится гистограмма, основанием которой является количество дней месяца, а высотой – численное значение средней температуры воздуха за этот месяц. Кривая годового хода температуры проводится таким образом, чтобы она проходила через середины каждого интервала. С графика снимаются даты устойчивого перехода заданных пределов средней суточной температуры воздуха и по разнице между этими датами определяется продолжительность периода в сутках в течении которого средняя суточная температура воздуха устойчиво остается ниже или выше заданных температур.

Таблица 4 – Среднемесячная температура наружного воздуха в зависимости от широты местности

Широта φ, град	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
55	-19	-17	-11	2.0	11	17	19	17	11	2.08	-8	-16
54	-18	-17	-11	3	13	18	20	18	12	3	-7	-14
53	-17	-16	-9	6	16	22	24	22	15	5	-5	-13
52	-17	-16	-9	6	16	22	24	22	15	5	-5	-13
51	-15	-15	-9	3	12	18	20	18	12	2	-7	-13
50	-17	-17	-9	4	13	19	21	19	12	4	-7	-14
49	-16	-15	-8	5	15	20	22	20	13	4	-5	-12
48	-14	-14	-7	6	15	20	23	21	14	5	-4	-11

**КГКП КОСТАНАЙСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЫСШИЙ КОЛЛЕДЖ  
УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АКИМАТА КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ**

47	-10	-9	-2	9	18	23	26	24	17	8	-0	-6
46	-15	-14	-5	7	16	22	24	22	15	6	-4	-12
45	-3	-3	2	10	18	23	26	25	19	12	5	0
44	-9	-7	1	12	19	24	26	24	17	9	0	-7
43	-11	-9	-1	10	16	21	23	21	16	8	-2	-8
42	-7	-6	2	11	16	21	23	22	17	10	1	-5
41	-6	-4	3	11	17	21	23	21	16	9	1	-4
40	-3	0	6	13	19	23	26	25	19	11	5	-1

**Пример 3.** Определение продолжительности эффективной работы СТС для точки А с координатами  $\varphi$ .

**Исходные данные.** Дана точка А с  $\varphi = 50^\circ$  северной широты. Для этой точки определить даты устойчивого перехода температуры следующих значений:  $T_1 = 0^\circ \text{C}$ ;  $T_2 = 5^\circ \text{C}$ ;  $T_3 = 10^\circ \text{C}$ .

Среднемесячная температура воздуха приведена в таблице 4.

**Решение**

Строим гистограмму, основанием периода которой являются числа дней соответствующего месяца, т.е. для января (1 период) – 31 деление, февраля (2 период) – 28 деления, марта (3 период) – 31 деление и т.д.

По оси ординат откладываем значения температур от  $-20^\circ$  до  $+30^\circ \text{C}$ .

Строим гистограмму и середины столбцов соединяем плавной кривой. В результате получаем кривую, представленную на рисунке 5

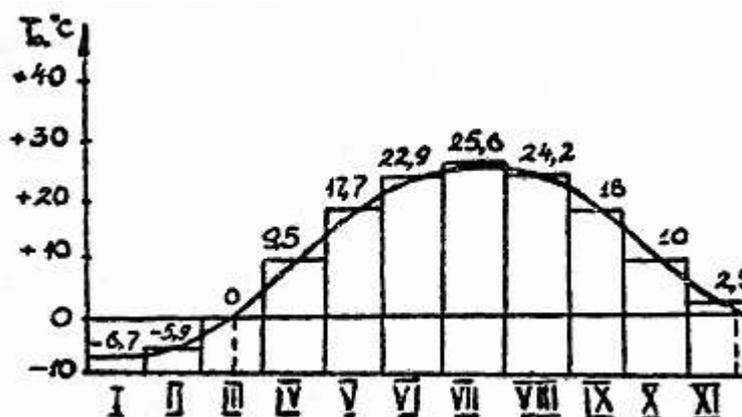


Рисунок 5 – График годового хода температуры наружного воздуха.

Проводим из точек соответствующих  $T_1 = 0^\circ \text{C}$ ;  $T_2 = 5^\circ \text{C}$ ;  $T_3 = 10^\circ \text{C}$  линии, параллельные оси абсцисс. Из точек пересечения этих линий с годовым ходом температуры опускаем перпендикуляры на ось времени.

В результате получаем следующее:

- А) продолжительность периода  $T_1$ , когда температура наружного воздуха устойчиво будет больше  $0^\circ \text{C}$  составляет 204 суток с 4 апреля по 25 октября;
- Б) продолжительность периода  $T_2$ , когда температура наружного воздуха устойчиво будет больше  $5^\circ \text{C}$  составляет 171 суток с 20 апреля по 8 октября;

В) продолжительность периода  $T_3$ , когда температура наружного воздуха устойчиво будет больше  $10^\circ\text{C}$  составляет 144 суток с 4 мая по 25 сентября.

#### Литература

1. Дж. Твайделл, А. Уэйр. Возобновляемые источники энергии.- М.: Энергоатомиздат, 1990. стр. 126-140.
2. Расчет систем солнечного теплоснабжения: перевод с англ. – У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи. – М. Энергоиздат, 1982. стр. 167-188.

#### **Практическое занятие 4**

**Тема:** Расчет изменения плотности потока солнечного излучения в течение суток на горизонтальную поверхность

**Цель:** Изучение составляющих солнечного излучения, достигающего поверхности Земли

**План:**

- 1 Состав солнечного излучения поступающего на Землю
- 2 Определение численных значений плотности прямого солнечного излучения, приходящего на горизонтальную поверхность, аналитическими зависимостями и данными актинометрических наблюдений

Наибольшая плотность потока солнечного излучения, приходящегося на Землю, составляет примерно  $1\text{ кВт/м}^2$  в диапазоне длин волн  $0,3\text{-}2,5\text{ мкм}$ . Это излучение называется коротковолновым и включает видимый спектр. Для населенных районов в зависимости от места, времени суток и погоды потоки солнечной энергии, достигающие Земли, меняются от 3 до  $30\text{ МДж/м}^2$  в день.

Солнечное излучение характеризуется энергией фотонов в максимуме распределения порядка 2 эВ, определенной по температуре поверхности Солнца около 6000 К. Это энергетический поток от доступного источника гораздо более высокой температуры, чем у традиционных технических источников. Излучение распространяется со скоростью  $3 \times 10^8\text{ м/с}$  и достигает земной атмосферы примерно за 8 минут. Тепловая энергия его может быть использована с помощью стандартных технических устройств (например: паровых турбин) и методами, разработанными на основе фотохимических и фотофизических взаимодействий.

Потоки энергии излучения, связывающие атмосферу с поверхностью Земли, также порядка  $1\text{ кВт/м}^2$ , но они перекрывают другой спектральный диапазон – от 5 до 25 мкм, называемый длинноволновым с максимумом около 10 мкм. По спектру коротко- и длинноволновое излучения расположены друг от друга достаточно далеко и могут быть легко различимы.

Вследствие реакций ядерного синтеза в активном ядре Солнца достигаются температуры до  $10\text{ К}^\circ$ ; спектральное распределение потока

излучения из ядра неравномерно. Это излучение поглощается внешними неактивными слоями, нагретыми до  $T = 5800 \text{ K}^\circ$ , в результате чего спектральное распределение солнечного излучения становится относительно непрерывным.

На рисунке 6 показано спектральное распределение лучистой энергии на среднем расстоянии от Солнца до Земли, не искаженное влиянием атмосферы. Видно, что это распределение по форме, длине волны в максимуме и полной энергии излучения подобно распределению интенсивности излучения абсолютно черного тела при температуре  $5800 \text{ K}^\circ$ . Площадь под этой кривой равна солнечной постоянной  $G = 1353 \text{ Вт/м}^2$ , которая представляет собой плотность потока излучения, падающего на площадку, перпендикулярную этому потоку и расположенную над атмосферой на расстоянии  $1,496 \times 10^8 \text{ км}$  от Солнца (среднее расстояние от Земли до Солнца).

На самом деле плотность потока излучения, достигающего верхней границы атмосферы, отличается от солнечной постоянной вследствие флуктуаций потока солнечной энергии менее чем на  $\pm 1,5\%$  и вследствие предсказуемых изменений расстояния между Землей и Солнцем, вызванных слабой эллиптичностью земной орбиты, – на  $\pm 4\%$  в течение года.

Солнечный спектр можно разделить на 3 основные области

- 1) ультрафиолетовое излучение ( $\lambda < 0,4 \text{ мкм}$ ) – 9% интенсивности;
- 2) видимое излучение ( $0,4 \text{ мкм} < \lambda < 0,7 \text{ мкм}$ ) – 45 % интенсивности;
- 3) инфракрасное излучение ( $\lambda > 0,7 \text{ мкм}$ ) – 46 % интенсивности.

Вклад в поток солнечной радиации излучения с длиной волны больше  $2,5 \text{ мкм}$  пренебрежительно мал, поэтому все три области относятся к коротковолновому излучению.

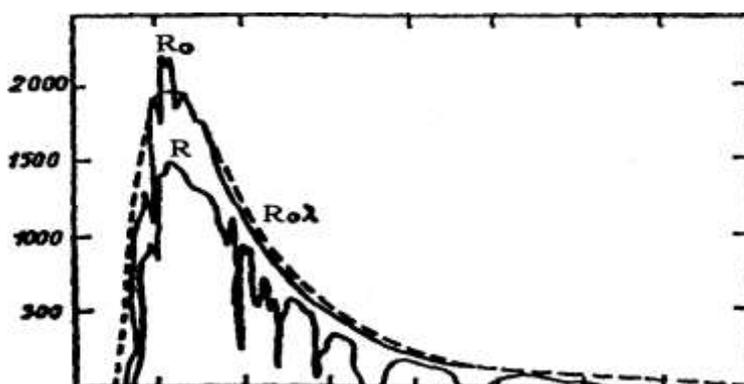


Рисунок 6 – Интенсивность прямого солнечного излучения за пределами атмосферы  $R_0$ , на уровне моря  $R$  и излучение абсолютно черного тела в зависимости от длины волны

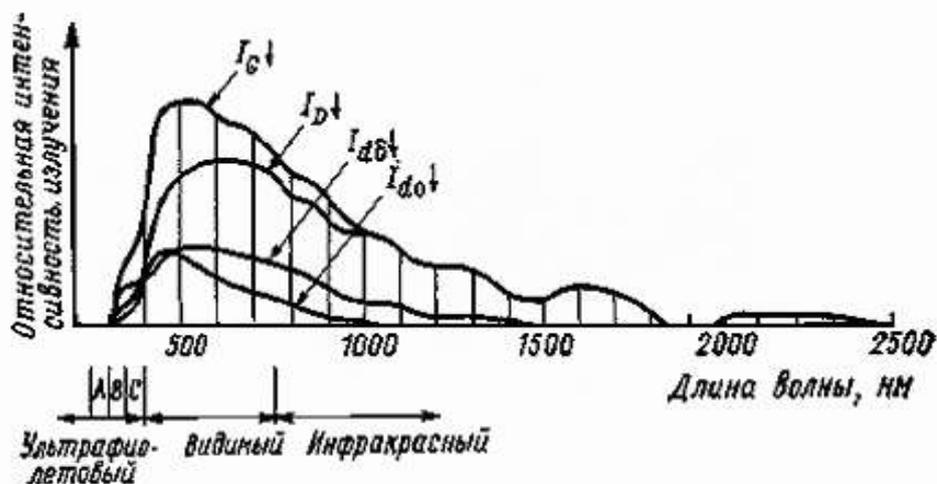


Рисунок 7 – Спектральный состав суммарной радиации при безоблачном небе, рассчитанные для горизонтальной поверхности (кривые относятся к высоте Солнца над горизонтом 30°)

Солнечная энергия достигает атмосферы в виде направленного потока солнечного космического излучения. На поверхности Земли регистрируется как прямой поток, так и рассеянное атмосферой излучение.



Рисунок 8 – Поступление солнечного излучения на Землю

Суммарная солнечная радиация включает в себя два вида излучения, падающего на горизонтальную плоскость – прямое и рассеянное. Прямая солнечная радиация представляет собой поток излучения, поступающего непосредственно от солнечного диска (который можно рассматривать как точечный источник) и измеряемого в плоскости, перпендикулярной направлению на Солнце. Рассеянная радиация поступает на земную поверхность от остальной части небесной полусферы, претерпевая рассеяние при прохождении через атмосферу. Радиация может также отражаться от поверхности земли на любую наклонную поверхность. Однако этот поток весьма трудно поддается оценке.

Соотношение между прямой, рассеянной и суммарной радиацией имеет вид:

$$H = H_N \cdot \sin \gamma + H_d = H_D + H_d, \quad (4)$$

где  $H_N$  – прямая солнечная радиация на поверхность перпендикулярную солнечным лучам;

$H_D$  – прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность;

$H_d$  – рассеянная солнечная радиация на горизонтальную поверхность;

$\gamma$  – высота Солнца над горизонтом.

На практике прямые лучи от диффузной составляющей отличаются тем, что направленный поток может быть сфокусирован. Даже в ясный день имеется некоторое количество рассеянного излучения. Отношение интенсивности направленного потока к полной интенсивности излучения меняется от 0,9 в ясный день до 0 в очень пасмурный день.

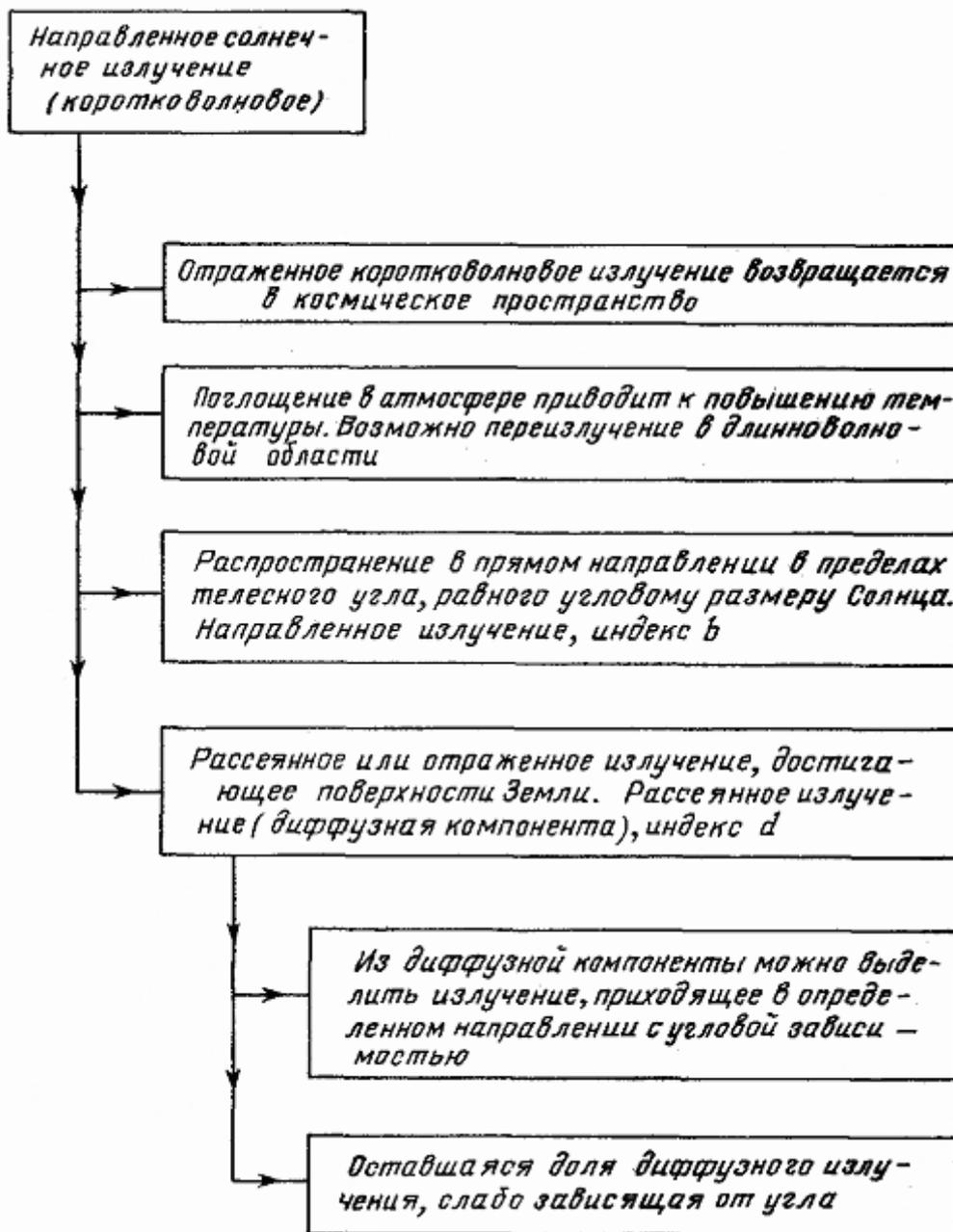


Рисунок 9 – Поступление солнечной радиации на Землю

Изменение плотности потока солнечного излучения в течение суток  $I_h$  можно принять происходящим по синусоидальному закону:

$$I_h = I_{h\max} \sin(\pi \cdot t' / T_c) = I_{h\max} \cdot \sin \lambda, \quad (5)$$

где  $I_{h\max}$  – максимальное значение плотности солнечной радиации в наиболее высокой точке нахождения Солнца в рассматриваемые сутки (местный полдень);

$\pi$  – число в радианах;

$t'$  – время после восхода Солнца, которое определяется с учетом принятой модели изменения солнечной радиации в сутки ( $0 < t' < T_c$ );

$T_c$  – продолжительность светового дня.

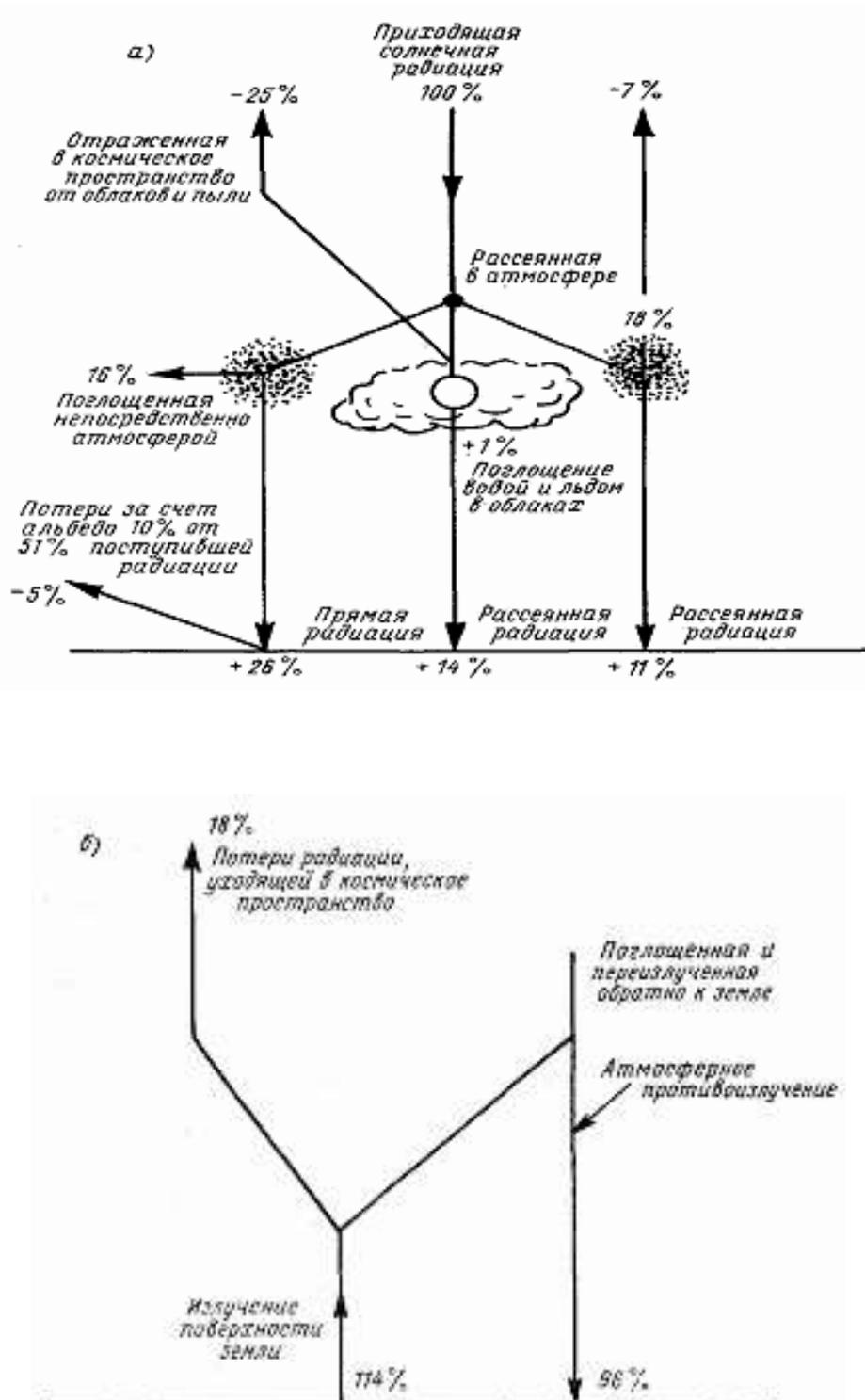


Рисунок 10 – Годовой радиационный баланс Земли (баланс отнесен к 100 % солнечной радиации, приходящей на верхнюю границу атмосферы:  
а – коротковолновая солнечная радиация;  
б — длинноволновая радиация Земли

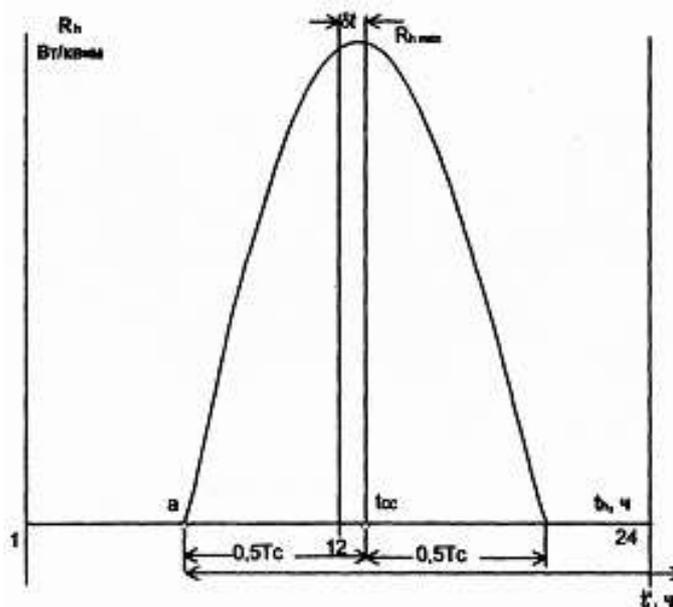


Рисунок 11 – Модель изменения  $I_h$  в течение суток

Суточный приход суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность определяется выражением:

$$H_{\text{Дсут}} = H_{\text{Дмес}} / N, \quad (6)$$

где  $H_{\text{Дмес}}$  – месячный приход прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность (см. таблицу 5);

$N$  – количество дней месяца

Максимальное значение плотности солнечной радиации можно определить через суточное поступление прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ :

$$I_{\text{hmax}} = [(\pi / 2) \cdot T_{\text{с1}}] \cdot H_{\text{Дсут}}, \quad (7)$$

**Пример 4.** Расчет изменения плотности потока солнечного излучения (прямой солнечной радиации) в течение суток в точке А на горизонтальную поверхность.

**Исходные данные:** Дана точка А с координатами широта  $\varphi = 50^\circ$ . Расчеты провести для условий ясного неба и средних условий облачности. Расчетные месяцы – январь, февраль и март. Данные актинометрических наблюдений приведены в таблицах 5-8. Изменение солнечной радиации в сутках происходит по синусоиде.

Таблица 5 – Месячный приход суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность  $H_G$ ,  $\text{МДж}/\text{м}^2$  (в числителе – при ясном небе, в знаменателе – при средних условиях облачности)

Месяц	Широта, град. с.ш.	Месяц	Широта, град. с.ш.
-------	--------------------	-------	--------------------

**КГКП КОСТАНАЙСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЫСШИЙ КОЛЛЕДЖ  
УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АКИМАТА КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ**

	40	45	50	55		40	45	50	55
Январь	348	277	201	134	Июль	909	897	888	884
	210	155	134	84		800	763	658	620
Февраль	440	377	310	243	Август	817	788	763	746
	302	264	218	155		767	712	574	553
Март	645	595	549	478	Сентябрь	649	612	570	515
	406	406	402	360		595	515	411	306
Апрель	796	754	708	679	Октябрь	515	461	406	327
	570	524	490	473		402	331	251	176
Май	909	897	880	872	Ноябрь	365	293	222	163
	754	725	649	595		239	165	134	88
Июнь	926	922	913	918	Декабрь	302	235	168	105
	804	746	691	658		176	134	105	50

Таблица 6 – Месячный приход прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность  $H_D$ , МДж/м<sup>2</sup> (в числителе – при ясном небе: в знаменателе – при средних условиях облачности)

Месяц	Широта, град. с.ш.				Месяц	Широта, град. с.ш.			
	55	50	45	40		55	50	45	40
Январь	96	151	218	281	Июль	729	746	746	742
	29	63	50	105		360	377	524	570
Февраль	176	226	285	348	Август	612	645	662	679
	63	113	151	189		344	364	515	570
Март	369	436	486	532	Сентябрь	427	478	507	536
	184	218	218	214		180	276	369	448
Апрель	545	582	616	649	Октябрь	260	327	377	427
	243	281	314	360		80	147	214	277
Май	721	737	754	767	Ноябрь	126	180	235	293
	323	398	473	503		42	67	71	147
Июнь	779	775	771	767	Декабрь	71	117	176	239
	390	444	536	574		17	55	71	92
Годовая	4911				5832				
	2254				3507				
	5401				6260				
	2803				4098				

Таблица 7 – Месячный приход рассеянной  $H_d$  (в числителе) и отраженной  $H_g$  (в знаменателе) солнечной радиации на горизонтальную поверхность, Дж/м<sup>2</sup>

Месяц	Широта, град. с.ш.				Месяц	Широта, град. с.ш.			
	55	50	45	40		55	50	45	40
Январь	55	71	105	105	Июль	260	281	239	230
	59	88	80	63		117	138	184	201
Февраль	92	105	113	113	Август	210	210	197	197
	113	138	130	80		109	122	180	201
Март	176	184	189	193	Сентябрь	126	134	147	147
	230	197	147	101		63	88	130	193

**КГКП КОСТАНАЙСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЫСШИЙ КОЛЛЕДЖ  
УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АКИМАТА КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ**

Апрель	230 147	210 105	210 126	210 134	Октябрь	96 46	105 46	117 88	126 109
Май	272 113	251 130	251 168	251 180	Ноябрь	48 50	67 59	84 50	92 63
Июнь	268 126	247 138	210 180	230 193	Декабрь	34 34	50 63	63 63	84 46
Годовая	1865 1207		1915 1311		1923 1525		1978 1563		

Таблица 8 – Среднемесячный дневной приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность за пределами земной атмосферы  $H_0$ , МДж/м<sup>2</sup>

Месяц	Широта, град. с.ш.				Месяц	Широта, град. с.ш.			
	40	45	50	55		40	45	50	55
Январь	15,1	12,0	9,0	6,1	Июль	40,3	40,0	39,6	39,1
Февраль	20,3	17,5	14,5	11,5	Август	36,2	35,1	33,8	32,4
Март	27,2	24,8	22,3	19,5	Сентябрь	29,7	27,7	25,4	23,0
Апрель	34,3	32,8	31,2	29,3	Октябрь	22,3	19,6	16,7	13,8
Май	39,3	38,8	38,1	37,2	Ноябрь	16,3	13,3	10,3	7,3
Июнь	41,4	41,3	41,2	40,9	Декабрь	13,6	10,6	7,6	4,8

**Решение**

Определяем склонение Солнца:

Январь:

$$\delta_1 = \delta_0 \sin [360^\circ (284 + n)/365] = 23,45 \sin [360^\circ \cdot (284 + 15/365)] = 23,45 \sin [295] = -21,3^\circ$$

Февраль:

$$\delta_2 = \delta_0 \sin [360^\circ (284 + n)/365] = 23,45 \sin [360^\circ \cdot (284 + 45/365)] = 23,45 \sin [324] = -13,6^\circ$$

Март:

$$\delta_3 = \delta_0 \sin [360^\circ (284 + n)/365] = 23,45 \sin [360^\circ \cdot (284 + 74/365)] = 23,45 \sin [353] = -0,12^\circ$$

Определяем продолжительность светового дня:

Январь:

$$T_{c1} = (2|15) \cos^{-1}(-\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta_1) = (2|15) \cos^{-1}[-\operatorname{tg} 50^\circ \cdot \operatorname{tg} (-21,3^\circ)] = (2|15) \cos^{-1}[-1,19 \cdot (-0,39)] = 8,3$$

Февраль:

$$T_{c2} = (2|15) \cos^{-1}(-\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta_2) = (2|15) \cos^{-1}[-\operatorname{tg} 50^\circ \cdot \operatorname{tg} (-13,6^\circ)] = (2|15) \cos^{-1}[-1,19 \cdot (-0,24)] = 9,8$$

Март:

$$\begin{aligned} T_{c3} &= (2|15)\cos^{-1}(-\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta_3) = (2|15)\cos^{-1}[-\operatorname{tg} 50^\circ \cdot \operatorname{tg} (-0,12^\circ)] = \\ &= (2|15)\cos^{-1}[-1,19 \cdot (-0,002)] = 12,0 \end{aligned}$$

Определяем координату точки начала отсчета  $t'$ :

Январь:

$$t_{a1} = (t_{cc} - 0,5 \cdot T_{c1}) = (12 - 0,5 \cdot 8,3) = 7,85$$

Февраль:

$$t_{a2} = (t_{cc} - 0,5 \cdot T_{c2}) = (12 - 0,5 \cdot 9,8) = 7,1$$

Март:

$$t_{a3} = (t_{cc} - 0,5 \cdot T_{c3}) = (12 - 0,5 \cdot 12) = 6$$

Определяем значение суточного прихода прямой солнечной радиации, МДж/м<sup>2</sup>:

Январь:

Ясное небо  $H_{D\text{сут}} = H_{D\text{мес}} / N = 151 / 31 = 4,87$

Средние условия облачности  $H_{D\text{сут}} = H_{D\text{мес}} / N = 63 / 31 = 2,03$

Февраль:

Ясное небо  $H_{D\text{сут}} = H_{D\text{мес}} / N = 226 / 28 = 8,07$

Средние условия облачности  $H_{D\text{сут}} = H_{D\text{мес}} / N = 113 / 28 = 4,04$

Март:

Ясное небо  $H_{D\text{сут}} = H_{D\text{мес}} / N = 436 / 31 = 14,1$

Средние условия облачности  $H_{D\text{сут}} = H_{D\text{мес}} / N = 218 / 31 = 7,03$

где  $H_{D\text{мес}}$  – месячный приход прямой солнечной радиации берется согласно данных таблицы 5.

Определяем максимальное значение плотности солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>:

Январь:

Ясное небо  $I_{h\text{max}} = (\pi / 2 \cdot T_{c1}) \cdot H_{D\text{сут}} = (3,14 / 2 \cdot 8,3) \cdot 1350 = 236$

Средние условия облачности  $I_{h\text{max}} = (\pi / 2 \cdot T_{c1}) \cdot H_{D\text{сут}} = (3,14 / 2 \cdot 8,3) \cdot 564 = 107$

Февраль:

Ясное небо  $I_{h\text{max}} = (\pi / 2 \cdot T_{c2}) \cdot H_{D\text{сут}} = (3,14 / 2 \cdot 9,8) \cdot 2240 = 359$

Средние условия облачности  $I_{h\text{max}} = (\pi / 2 \cdot T_{c2}) \cdot H_{D\text{сут}} = (3,14 / 2 \cdot 9,8) \cdot 1120 = 179$

Март:

Ясное небо  $I_{hmax} = (\pi / 2 \cdot T_{c3}) \cdot N_{Дсут} = (3,14/2 \cdot 12) \cdot 3920 = 513$

Средние условия облачности  $I_{hmax} = (\pi / 2 \cdot T_{c3}) \cdot N_{Дсут} = (3,14/2 \cdot 12) \cdot 1950 = 255$

Определяем текущее значение плотности солнечной радиации:

Январь:

ясное небо

$t' = 1$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c1}) = 236 \cdot \sin(180 \cdot 1/8,3) = 87,2$

$t' = 2$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c1}) = 236 \cdot \sin(180 \cdot 2/8,3) = 162$

$t' = 3$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c1}) = 236 \cdot \sin(180 \cdot 3/8,3) = 214$

$t' = 4$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c1}) = 236 \cdot \sin(180 \cdot 4/8,3) = 236$

средние условия облачности

$t' = 1$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c1}) = 107 \cdot \sin(180 \cdot 1/8,3) = 39,5$

$t' = 2$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c1}) = 107 \cdot \sin(180 \cdot 2/8,3) = 73,5$

$t' = 3$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c1}) = 107 \cdot \sin(180 \cdot 3/8,3) = 97$

$t' = 4$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c1}) = 107 \cdot \sin(180 \cdot 4/8,3) = 107$

Февраль:

ясное небо

$t' = 1$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c2}) = 359 \cdot \sin(180 \cdot 1/9,8) = 113$

$t' = 2$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c2}) = 359 \cdot \sin(180 \cdot 2/9,8) = 215$

$t' = 3$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c2}) = 359 \cdot \sin(180 \cdot 3/9,8) = 294$

$t' = 4$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c2}) = 359 \cdot \sin(180 \cdot 4/9,8) = 344$

средние условия облачности

$t' = 1$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c2}) = 179 \cdot \sin(180 \cdot 1/9,8) = 56,4$

$t' = 2$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c2}) = 179 \cdot \sin(180 \cdot 2/9,8) = 107$

$t' = 3$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c2}) = 179 \cdot \sin(180 \cdot 3/9,8) = 147$

$t' = 4$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c2}) = 179 \cdot \sin(180 \cdot 4/9,8) = 172$

Март

ясное небо

$t' = 1$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c3}) = 513 \cdot \sin(180 \cdot 1/12) = 133$

$t' = 2$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c3}) = 513 \cdot \sin(180 \cdot 2/12) = 257$

$t' = 3$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c3}) = 513 \cdot \sin(180 \cdot 3/12) = 363$

$t' = 4$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c3}) = 513 \cdot \sin(180 \cdot 4/12) = 444$

средние условия облачности

$t' = 1$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c3}) = 255 \cdot \sin(180 \cdot 1/12) = 66$

$t' = 2$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c3}) = 255 \cdot \sin(180 \cdot 2/12) = 128$

$t' = 3$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c3}) = 255 \cdot \sin(180 \cdot 3/12) = 180$

$t' = 4$  ч  $I_{h1} = I_{hmax} \cdot \sin(180 \cdot t' / T_{c3}) = 255 \cdot \sin(180 \cdot 4/12) = 221$

**КГКП КОСТАНАЙСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЫСШИЙ КОЛЛЕДЖ  
УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АКИМАТА КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ**

Для времени после солнечного полдня, значение плотности солнечной радиации равны соответствующим значениям до солнечного полдня. Полученные результаты заносим в таблицы 9 –11.

Таблица 9 – Расчет изменения плотности потока солнечного излучения на горизонтальную поверхность для января

Время местное $t$ , ч	Время после восхода солнца, $t_c$ , ч	Плотность потока радиации $I_h$ при ясном небе, Вт/м <sup>2</sup>	Плотность потока радиации $I_h$ при ср. усл. облачн., Вт/м <sup>2</sup>
7	0	0	0
8	0	0	0
9	1	87,2	39,5
10	2	162	73,5
11	3	214	97
12	4	236	107
13	5	214	97
14	6	162	73,5
15	7	87,5	39,5
16	8	0	0

Таблица 10 – Расчет изменения плотности потока солнечного излучения на горизонтальную поверхность для февраля

Время местное $t$ , ч	Время после восхода солнца, $t_c$ , ч	Плотность потока радиации $I_h$ при ясном небе, Вт/м <sup>2</sup>	Плотность потока радиации $I_h$ при ср. усл. облачн., Вт/м <sup>2</sup>
7	0	0	0
8	1	113	56,4
9	2	215	107
10	3	294	147
11	4	344	172
12	5	359	179
13	6	344	172
14	7	29	147
15	8	215	107
16	9	113	56,4
17	10	0	0

Таблица 11 – Расчет изменения плотности потока солнечного излучения на горизонтальную поверхность для марта

Время местное $t$ , ч	Время после восхода солнца, $t_c$ , ч	Плотность потока радиации $I_h$ при ясном небе, $Вт/м^2$	Плотность потока радиации $I_h$ при ср. усл. облачн., $Вт/м^2$
6	0	0	0
7	1	133	66
8	2	257	128
9	3	363	180
10	4	444	221
11	5	-	-
12	6	513	255
13	7	-	-
14	8	444	221
15	9	363	180
16	10	257	128
17	11	133	66
18	12	0	-

По результатам таблиц 9-11 строится зависимость  $I_h = f(t)$  для каждого месяца при различных условиях облачности.

#### Контрольные вопросы

1. Составляющие солнечного излучения достигающего земной поверхности.
2. Дать понятие прямой солнечной радиации.
3. Процентное соотношение прямой и рассеянной солнечной радиации, достигающих земной поверхности.
4. Единицы измерения солнечной радиации.
5. Перечислить основные области солнечного спектра и их характеристики.

#### Литература

1. Мак-Вейг Д. Применение солнечной энергии: перевод с англ. под ред. Б.В. Тарнижевского. – М. Энергоиздат, 1981. стр. 128-145.
2. Расчет систем солнечного теплоснабжения: перевод с англ. – У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи. – М. Энергоиздат, 1982. стр. 45-56.

### Практическое занятие 5

**Тема:** Расчет оптимального угла наклона КСЭ в течение года

**Цель:** Изучить методику определения приведенной поглотательной способности коллекторов солнечной энергии, расчетов составляющих солнечного излучения в зависимости от угла наклона поверхности к горизонту.

**План:**

- 1 Влияние угла наклона поверхности к горизонту на величину поступающей на нее солнечной радиации
- 2 Выбор оптимального угла наклона коллектора солнечной энергии к горизонту для получения максимальной его тепловой производительности.

Пропускательная способность системы прозрачных покрытий  $\tau$  и поглотательная способность пластины  $\alpha$  зависят от угла падения солнечной радиации на поверхность коллектора. В отдельности эти величины нельзя определить из опытов, проводимых по обще принятой методике. В тех опытах определяется произведение величин  $F$ ,  $\tau$  и  $\alpha$ , поскольку именно оно необходимо для расчета долгосрочных характеристик системы солнечного теплоснабжения.

Проблема состоит в том, что испытания коллектора обычно проводят в условиях, когда падающее излучение почти перпендикулярно поверхности коллектора.

Следовательно, произведение,  $F_R = (\tau\alpha)_n$  определяемое из опытов; как правило, представляет собой величину, соответствующую падению излучения по нормали к поверхности. В зависимости от ориентации коллектора и времени года, среднемесячные значения пропускательной и поглотательной способности могут быть значительно меньше, чем при нормальном падении излучения.

Упрощенный метод определения среднемесячных значений приведенной поглотательной способности  $\overline{\tau\alpha}$ , который может быть использован во многих случаях, состоит в следующем. Когда угол наклона коллектора к горизонту находится в пределах  $\varphi - 15^\circ, \varphi + 15^\circ$ , а его ориентация отличается от южной не более чем на  $15^\circ$ , отношение  $\frac{\overline{\tau\alpha}}{(\tau\alpha)_n}$  для всех месяцев отопительного сезона принимается равным 0,96 для коллектора с одинарным остеклением и 0,94 для – коллектора с двойным остеклением

Если угол наклона коллектора к горизонту отличается от широты местности более чем на  $15^\circ$ , отношение  $\frac{\overline{\tau\alpha}}{(\tau\alpha)_n}$  должно рассчитываться с учетом вклада каждой, из составляющих радиации. Имеем:

$$\frac{\overline{\tau\alpha}}{(\tau\alpha)_n} = \left(1 - \overline{H_d} / \overline{H}\right) \left(\overline{R_b} / \overline{R}\right) \left(\overline{\tau\alpha}\right)_b / (\tau\alpha)_n + \left(\overline{H_d} / \overline{H}\right) \left(1 / \overline{R}\right) \left[(1 + \cos s) / 2\right] \left(\overline{\tau\alpha}\right)_d / (\tau\alpha)_n + \left[\rho \left(1 / \overline{R}\right) \left[(1 - \cos s) / 2\right] \left(\overline{\tau\alpha}\right)_r / (\tau\alpha)_n\right] \quad (8)$$

где  $\left(\overline{\tau\alpha}\right)_b, \left(\overline{\tau\alpha}\right)_d, \left(\overline{\tau\alpha}\right)_r$  – среднемесячные значения приведенной поглотительной способности по отношению к прямому, диффузному и отражённому от земли излучениям.

На рисунке 12,а показана зависимость отношения  $\frac{\tau}{\tau_n}$  от угла падения излучения для коллектора с одним, двумя и тремя листами стекла или пленки Тедлар, а на рисунке 12,б – зависимость  $\frac{\alpha}{\alpha_n}$  для матово-черной поглощающей поверхности.

Немногочисленные опубликованные данные показывают, что для селективной поверхности распределение поглотительной способности аналогично распределению для матово-черной поверхности. В дополнение к этой информации достаточно указать среднемесячные значения углов падения прямого, диффузного и отраженного от земли излучений, чтобы определить величину  $\frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n}$ .

Для изотропного диффузного излучения средний угол падения на горизонтальную поверхность равен  $60^\circ$ . Если коллектор наклонен к горизонту, средний угол падения диффузного излучения будет меньше  $60^\circ$ , тогда как средний угол падения отраженного от земли излучения будет больше  $60^\circ$ . Средний угол падения диффузного излучения можно принять равным  $60^\circ$ , что занижает оценку прихода диффузной радиации. Для отраженного от земли излучения, вклад которого мал, средний угол падения принимается равным также  $60^\circ$ . В результате отношения  $\frac{\overline{\tau\alpha_d}}{(\tau\alpha)_n}$  и  $\frac{\overline{\tau\alpha_r}}{(\tau\alpha)_n}$  можно рассчитать таким же образом, как и для прямого излучения.

Клейн показал, что для ориентированных на юг поверхностей среднемесячный угол падения прямого излучения  $\overline{\theta_b}$  примерно равен углу падения в моменты времени  $\pm 2,5$  ч относительно солнечного полудня в день, соответствующий середине месяца. Зависимость  $\overline{\theta_b}$  от разности углов  $\varphi - s$  представлен на рисунке 13. Отношение  $\frac{\overline{\tau\alpha_b}}{(\tau\alpha)_n}$  равно произведению значений  $\frac{\tau}{\tau_n}$  и  $\frac{\alpha}{\alpha_n}$  соответствующих углу падения  $\overline{\theta_b}$ .

Для поверхностей, ориентация которых отличается от южной ориентации более чем на  $15^\circ$ , не существует простого метода расчета

отношения  $\frac{\overline{\tau\alpha}}{(\tau\alpha)_n}$ . Однако это отношение не сильно зависит от азимутального угла. Его значения, вычисленные для строго южной ориентации, с небольшой погрешностью можно использовать для поверхностей; азимут которых по абсолютному значению не превышает  $15^\circ$ .

Произведение  $F_R(\overline{\tau\alpha})_n$ , необходимое для расчета долгосрочных характеристик системы, определяется умножением величины  $F_R(\tau\alpha)_n$ , полученной в результате испытаний коллектора, на отношение  $\frac{\overline{\tau\alpha}}{(\tau\alpha)_n}$ .

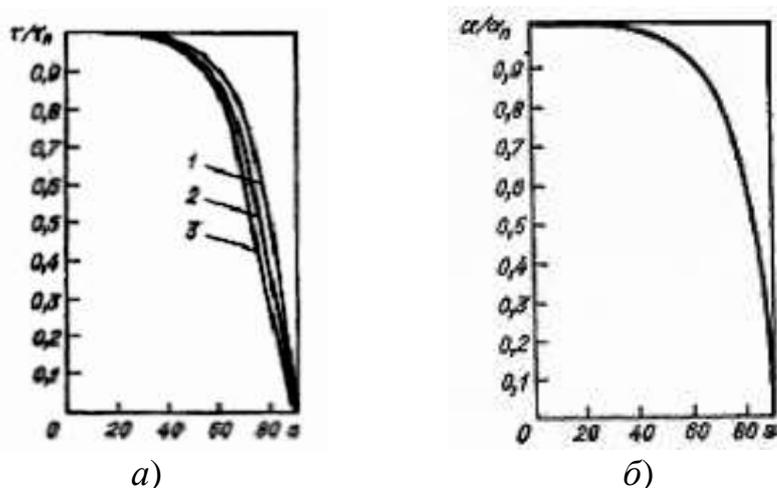


Рисунок 12 – Зависимость  $\frac{\tau}{\tau_n}$  (а) и  $\frac{\alpha}{\alpha_n}$  (б) от угла падения излучения

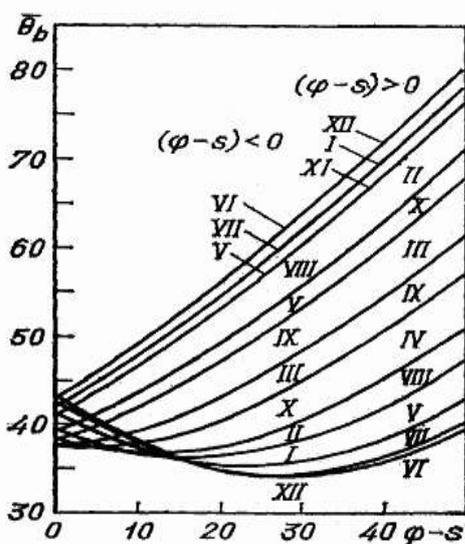


Рисунок 13 – Зависимость среднего угла падения прямого солнечного излучения от разности  $(\varphi - s)$  (римскими цифрами указаны месяцы)

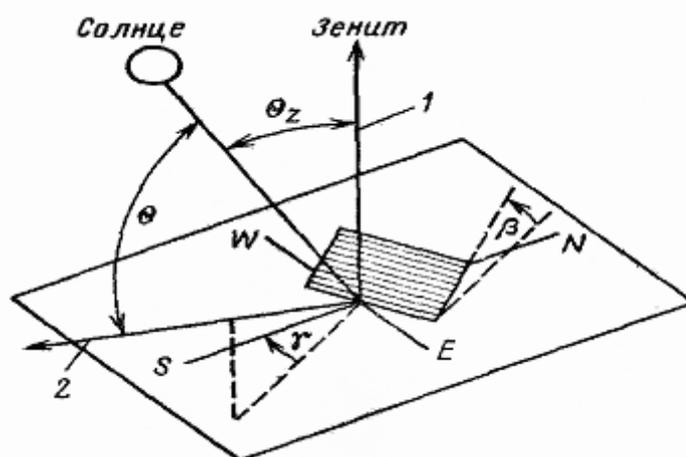


Рисунок 14 – Ориентация поверхности относительно горизонта

**Пример 5.** Определить оптимальный угол наклона КСЭ в течение года в расчетной точке А с координатами  $\varphi$  с.ш. и  $\psi$  в.д.

**Исходные данные.** Для определения оптимального угла наклона необходимо воспользоваться результатами, полученными в предыдущих контрольных заданиях.

Угол наклона КСЭ к горизонту определяется в соответствии с данными таблицы 12.

**Решение.**

1. Определяем отношение  $R_b$  при заданных углах наклона КСЭ к горизонту
2. Определяем отношение  $R$  при тех же углах наклона
3. Определяем  $H_{т.сут}$

Результаты расчетов заносим в таблицу 12.

Таблица 12 – Определение оптимального угла наклона

№ месяца	Угол наклона КСЭ к горизонту, град						
	$\varphi - 20^\circ$	$\varphi - 15^\circ$	$\varphi - 10^\circ$	$\varphi$	$\varphi + 10^\circ$	$\varphi + 15^\circ$	$\varphi + 20^\circ$
1	7,0	7,31	7,34	8,23			

Строим зависимость  $H_{т.сут} = f(\varphi)$ .

**Контрольные вопросы**

1. При каких значениях угла наклона к горизонту будет максимальный приход солнечной радиации на наклонную поверхность?
2. Зависимость прихода прямой солнечной радиации от времен года и широты местности.
3. Закон изменения плотности потока солнечной радиации и определение ее численного значения в зависимости от времени.

### **Литература**

1. Мак-Вейг Д. Применение солнечной энергии: перевод с англ. под ред. Б.В. Тарнижевского. – М. Энергоиздат, 1981. стр. 57-59.
2. Кирюшатов А.И. Использование нетрадиционных возобновляющихся источников энергии в сельскохозяйственном производстве. – М.: Агропромиздат, 1991. стр. 21-27.

### **Практическое занятие 6**

**Тема:** Расчет параметров ветронасосного агрегата

**Цель:** Изучить методику определения основных параметров ветронасосного агрегата, характеризующих его технические и энергетические показатели

**План:**

- 1 Энергия, затраченная на вращение ветроколеса.
- 2 Определение мощности на вращение ветроколеса, потерь скорости ветра при прохождении его через плоскость ветроколеса.

Ветроэнергетические установки преобразуют в электрическую энергию только часть кинетической энергии ветрового потока. Степень преобразования зависит от технических характеристик ветроэнергетических установок и в частности от численного значения коэффициента использования энергии ветра, а также от коэффициентов полезного действия передачи и генератора электрической энергии. Воздушный поток под действием силы сопротивления или подъемной силы приводит в движение ветроколесо. Полезное действие этих сил зависит от геометрии расположения ветроколеса и формы самих лопастей.

Мощность, развиваемая ветроколесом, определяется как кинетическая энергия ветра, действующая в единицу времени, с учетом коэффициента ее использования, Вт:

$$P_{вк} = \rho \cdot \frac{A}{2} \cdot v^3 \cdot \xi \quad (9)$$

где  $\xi$  – коэффициент использования энергии ветра;

$v$  – скоростью воздушного потока;

$A$  – поверхность, ометаемая крыльями ветроколеса:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,785 \cdot D^2 \quad (10)$$

где  $D$  – диаметр ветроколеса.

При плотности воздуха  $\rho = 1,23 \text{ кг/м}^3$  мощность, развиваемую ветроколесом, можно определить по выражению, кВт:

$$P_{вк} = 4,81 \cdot 10^{-4} \cdot v^3 \cdot D^2 \cdot \xi \quad (11)$$

мощность, развиваемая с единицы ометаемой площади, кВт/м<sup>2</sup>:

$$P_{вк.уд} = 0,615 \cdot 10^{-3} \cdot v^3 \cdot \xi \quad (12)$$

Таким образом, мощность, развиваемая ветроколесом, определяется ометаемой площадью ветроколеса, скоростью ветра и величиной коэффициента использования энергии ветра.

В случае использования ветроагрегата в качестве насосного, например, для подъема воды, необходимо задаться или рассчитать требуемое потребление ее в течение года. Затем потребуются определить мощность необходимую для подъема воды насосом с учетом коэффициента недогрузки мощности ветродвигателя. По рассчитанным параметрам можно определить диаметр ветроколеса:

$$D = \sqrt{\frac{1530 \cdot P_{уст}}{v^3 \cdot \xi}} \quad (13)$$

где  $P_{уст}$  – установленная мощность ветродвигателя, Вт.

**Пример 6.** Рассчитать параметры ветронасосного агрегата для водоподъема на пастбища крупного рогатого скота.

**Исходные данные.** Для определения требуемых параметров необходимо знать:

$n$  – число животных в отаре,  $n = 1200$  голов;

$\alpha$  – коэффициент суточной неравномерности водопотребления,  $\alpha = 1,3$ ;

$T_z$  и  $T_l$  – количество суток в зимний и летний периоды, соответственно, 0 и 184;

$q_z$  и  $q_l$  – норма суточного водопотребления одним животным зимой и летом, соответственно, 50 л и 60 л;

$v$  – среднегодовая скорость ветра, 3,2 м/с;

$k_{н.м}$  – коэффициент недогрузки мощности ветродвигателей, равен 2,38;

$\eta$  – к.п.д. насоса,  $\eta = 0,45$ ;

$H$  – напор,  $H = 2$  м;

$\xi$  – теоретический коэффициент использования энергии ветра,  $\xi = 0,593$ .

**Решение.**

Годовое водопотребление отары, м<sup>3</sup>/год:

$$Q = n \cdot \alpha \cdot (T_z \cdot q_z + T_l \cdot q_l) \quad (13)$$

$$Q = 1200 \cdot 1,3 \cdot (0 \cdot 0,05 + 184 \cdot 0,06) = 17222,4 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Определим мощность, необходимую для подъема воды насосом:

$$P = \frac{Q \cdot H}{75 \cdot \eta} \quad (14)$$

$$P = \frac{17222,4 \cdot 2}{75 \cdot 0,45} = 1020,6 \text{ кВт.}$$

Для определения установленной мощности ветродвигателя можно воспользоваться следующей формулой:

$$P_{уст} = k_{н.м} \cdot P \quad (15)$$

$$P_{уст} = 2,38 \cdot 1020,6 = 2429,03 \text{ кВт.}$$

По формуле (13) определяем диаметр ветроколеса:

$$D = \sqrt{\frac{1530 \cdot 2429,03}{3,2^3 \cdot 0,593}} = 437,3 \text{ см.}$$

### Контрольные вопросы

1. Что характеризует коэффициент суточной неравномерности водопотребления?
2. Что характеризует коэффициент недогрузки мощности ветродвигателей?
3. От чего зависит диаметр ветроколеса?

### Литература

1. Кирюшатов А.И. Использование нетрадиционных возобновляющихся источников энергии в сельскохозяйственном производстве. – М.: Агропромиздат, 1991. стр. 82-84.
2. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. – М.: Энергоатомиздат, 1983. стр. 98-110.

### Практическое занятие 7

**Тема:** Определение потенциальных, технических и экономических ветроэнергоресурсов

**Цель:** Изучить методику расчета технических параметров и экономического эффекта от использования энергии ветра на основе ее количественных и качественных показателей.

**План:**

- 1 Коэффициент использования энергии ветра.
- 2 Основные формулы определения потенциальных, технических и экономических параметров ветра.

Ветроэнергетические установки преобразует в электрическую энергию только часть кинетической энергии ветрового потока. Степень преобразования зависит от технических характеристик ветроэнергетических установок и в частности от численного значения коэффициента использования

энергии ветра, а также от коэффициентов полезного действия передачи и генератора электрической энергии.

Отношение энергии, воспринятой ветроколесом, к полной энергии, которой обладает воздушный поток, называется коэффициентом использования энергии ветра. Значение коэффициента использования энергии ветра определяется для конкретных ветроэнергетических установок согласно аэродинамической характеристике ветродвигателя. Коэффициент использования энергии ветра зависит от величины потери скорости ветра при прохождении его через плоскость ветроколеса. В зависимости от технического совершенства он лежит в пределах от 0,20 до 0,45.

Направление ветра необходимо учитывать при сооружении многоагрегатных ветроэнергетических станций (ВЭС). Для одиночных ветроэнергетических установок это условие необязательно.

Возможное годовое производство электрической энергии определено выражением:

$$W_{\text{год}} = \sum_n^m P_i \cdot t_i + \sum_k^1 P_n \cdot t_j \quad (16)$$

где  $(n, m)$  - градации скорости ветра меньше расчетной и находящейся в пределах  $v_{na} < v < v_p$  ;

$P_i$  – мощность ветрового потока, соответствующая скорости ветра  $v_i$ , меньше расчетной;

$t_j$  – время, соответствующее скоростям ветра, находящимся в пределах  $v_p \leq v < v_{max}$ ;

$(k, 1)$  – градация скоростей ветра, соответствующая отношению  $v_p \leq v < v_{max}$ ;

$P_n$  – расчетная или номинальная мощность.

Одним из основных параметров ветроустановок следует считать численные значения начальной, расчетной и максимальной скоростей ветра. Начальная скорость определяет скорость ветра, при которой ветроустановка начинает вырабатывать электрическую энергию, а максимальная скорость – скорость, при которой заканчивается процесс выработки электрической энергии. Скорость ветра является определяющим параметром, который прямо влияет на мощность и производство электроэнергии ветроустановками.

Расчетную скорость ветроустановки можно определить, исходя из следующих условий:

- 1) получение максимального значения вырабатываемой энергии;
- 2) максимальное время работы в течение года или другого промежутка времени с возможностью максимального использования установленной мощности.

Воздушный поток, как и всякое движущееся тело, обладает кинетической энергией. Одним из видов использования кинетической энергии является превращение ее в механическую работу.

Кинетическая энергия  $E_е$  воздушного потока, имеющего скорость  $v$ , определяется по выражению:

$$E_е = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (17)$$

где  $m$  – масса движущегося воздушного потока;

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot v \cdot F \quad (18)$$

где  $V$  – объем массы воздуха, протекающего за секунду через сечение  $F$  со скоростью  $v$ .

Количество энергии ветра, протекающего за 1 с через поперечное сечение:

$$E_е = \rho \cdot \frac{v^3 \cdot F}{2} \quad (19)$$

Энергия ветра изменяется пропорционально кубу его скорости и поперечного сечения.

Отличительным свойством ветра является его повсеместность. Однако техническое использование энергии ветра во многих случаях крайне затруднено из-за низкой плотности воздуха (она в 800 раз меньше плотности воды). Для получения значительной мощности необходимо ветроколесо очень больших размеров, т.к. ветроагрегат может преобразовать только часть потенциальной энергии, определяемой коэффициентом использования энергии ветра  $\xi$ . При этом частота вращения ветроколеса должна регулироваться из-за непостоянства скорости ветра во времени и вырабатываемая мощность, изменяясь пропорционально третьей степени скорости ветра, будет иметь большую амплитуду колебаний.

Расчетная мощность ветроэлектрических установок определяется выражением, кВт:

$$P_p = 0,48 \cdot 10^{-3} \cdot D^2 \cdot v_p^3 \cdot \varepsilon \cdot \eta_r \cdot \eta_{II}. \quad (20)$$

### **Контрольные вопросы**

1. От чего зависит величина коэффициента использования энергии ветра?
2. В чем отличие между собой начальной, расчетной и максимальной скоростей ветра?
3. От каких параметров зависит мощность ветроэлектрических установок?

### **Литература**

1. Тлеуов А.Х. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Учебное пособие. – Астана: КГАУ им. С.Сейфуллина, 2004. стр. 152-155.
2. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. – М.: Энергоатомиздат, 1983. стр. 98-110.

### **Практическое занятие 8**

**Тема:** Расчет параметров турбины для гидроэлектростанции

**Цель:** Изучить методику определения основных величин гидротурбины (напор, расход, число оборотов, высота отсасывания) для ГЭС, мощность которой задана.

**План:**

- 1 Основные характеристики гидротурбин.
- 2 Расчет основных параметров гидротурбин.

Гидравлической (или водяной) турбиной называется двигатель, использующий механическую энергию воды посредством изменения момента, количества движения относительно оси вращения рабочего колеса.

Гидротурбины и гидроагрегаты разрабатываются и изготавливаются различными заводами, но конструируются как элементы единого гидроагрегата. Это дает возможность создать надежный агрегат с высокими энергетическими и эксплуатационными показателями.

При расчете гидротурбин задаются мощностью гидроэлектростанции и определяют необходимое количество агрегатов. Исходя из практики, наиболее оптимальное и эффективное их число составляет от 2 до 4.

По заданной мощности турбины и расчетному напору находится рекомендуемый для данных условий диаметр турбины и рабочего колеса (сводный график номенклатуры на рисунке 15 и таблица 13). Первоначально необходимо рассчитать диаметр рабочего колеса по формуле:

$$D_1 = \sqrt{\frac{N}{9,81 \cdot Q_1' \cdot \eta \cdot H_p \cdot \sqrt{H_p}}} \quad (21)$$

где  $\eta$  – к.п.д. турбины, принимается по таблице 13;

$Q_1'$  – приведенный предельный расход, м<sup>3</sup>/с, для конкретного типа турбины принимается по таблице 14;

$H_p$  – расчетный напор.

Таблица 13 - Рабочие параметры реактивных турбин, соответствующие нормальной номенклатуре.

Система турбины	Поворотно-лопастная (ПЛ)			Радиально-осевая (РО)					
	ПЛ70	ПЛ510	ПЛ587	РО123	РО82	РО638	РО15	РО533	РО246
Тип рабочего колеса									

**КГКП КОСТАНАЙСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЫСШИЙ КОЛЛЕДЖ  
УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АКИМАТА КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ**

Допустимый наибольший напор, м	6	16	20	45	100	140	140	200	300
Пределы диаметров по номенклатуре, см	60	60	60	35	35	60	50	71	84
Приведенное число оборотов, $n_1'$ , об/мин	170	150	140	72	65	67	59	61	59
Приведенный предельный расход, $Q_1'$ , м/с	2,1- 1,6	1,85- 1,45	1,7- 1,35	1,30	0,87	0,67	0,35	0,22	0,19
Допустимый коэффициент кавитации, $\sigma$	1,9- 1,6	0,75- 0,58	0,7- 0,5	0,22	0,11	0,07 8	0,07	0,056	0,036
Оптимальный к.п.д. при $D_1 = 1$ м, %	87,5	87,5	89	89,9	88,7	90,0	88,7	90,0	88,7

Таблица 14 – Диаметр рабочего колеса турбины и тип установки

Диаметр рабочего колеса, см	Поворотно- лопастные			Радиально-осевые					
	Тип установки								
50	Малые турбины			ВО, ВМ	ГМ, ВМ		ГМ, ВМ		
60	ВО	ВО, ВМ	ВМ	ВО, ВМ	ГМ, ВМ	ГМ, ВМ	ГМ, ВМ		
71		ВО, ВМ		ВО, ВМ	ГМ, ВМ	ГМ, ВМ	ГМ, ВМ	ГМ, ВМ	
80	ВО	ВО, ВБ	ВМ						
84				ВБ, ВМ	ГМ, ВМ	ГМ, ВМ	ГМ, ВМ	ГМ, ВМ	ГМ, ВМ
100	ВО, ВБ		ВБ	ВБ, ВМ	ВМ	ВМ		ВМ	ВМ
120	ВО, ВБ	ВБ	ВБ	ВБ, ВМ	ВМ	ВМ		ВМ	ВМ
140	ВБ	ВБ	ВБ	ВБ, ВМ	ВМ	ВМ		ВМ	ВМ
160	ВБ	ВБ	ВБ	ВБ, ВМ	ВМ	ВМ		ВМ	ВМ

**КГКП КОСТАНАЙСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЫСШИЙ КОЛЛЕДЖ  
УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АКИМАТА КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ**

180	ВБ	ВБ	ВБ	ВБ, ВМ	Крупные турбины	Крупные турбины
200	ВБ	ВБ	ВБ	ВБ, ВМ		
225	ВБ	ВБ	ВБ	ВБ, ВМ		
250	ВБ	ВБ	ВБ	ВБ, ВМ		

Также необходимо определить среднее число оборотов турбины по приведенному значению, взятому из таблицы 13:

$$n = \frac{n_1 \cdot \sqrt{H}}{D_1} \quad (22)$$

где  $H$  – допустимый наибольший напор, м (таблица 14).

Для определенной мощности и числу оборотов турбины выбирается марка генератора и его номинальные данные. По числу генераторов (равному числу турбин) и их выбранной мощности находится установленная мощность ГЭС.

Далее рассчитываются максимальный и минимальный расходы воды через турбину, а также ее высота отсасывания.

Окончательный выбор марки и типа гидротурбины производится по таблице 13.

**Пример 7.** Подобрать турбины для гидроэлектростанции, мощность которой задана.

**Исходные данные.** Для определения требуемых параметров турбин необходимо знать:

$N_з$  – мощность ГЭС,  $N_з = 3000$  кВт;

$H_p$  – расчетный напор,  $H_p = 14$  м;

$H_{min}$  и  $H_{max}$  – минимальный и максимальный напоры, соответственно, 12 и 17 м.

**Решение.**

Определяем мощность каждой турбины, приняв их количество равное 3:

$$N = \frac{N_з}{n} = 3000/3 = 1000 \text{ кВт.}$$

По графику 15 и таблице 13 предварительно принимаем к расчету гидротурбину с рабочим колесом марки ПЛ510, система турбины – поворотнo-лопастная, тип установки – ВБ. Из этой же таблицы принимаем для расчета приведенный предельный расход равным  $1,85 \text{ м}^3/\text{с}$  и к.п.д.  $87,5\%$ .

Определяем расчетный диаметр рабочего колеса по (21):

$$D_1 = \sqrt{\frac{1000}{9,81 \cdot 1,85 \cdot 0,875 \cdot 14 \cdot \sqrt{14}}} = 1,09 \text{ см.}$$

По таблице 14 принимаем ближайший стандартный диаметр рабочего колеса равный  $D_{cm} = 120 \text{ см} = 1,2 \text{ м}$ .

Определяем среднее число оборотов турбины по (22), взяв значение допустимого максимального напора из таблицы 13:

$$n = \frac{150 \cdot \sqrt{16}}{1,2} = 500 \text{ об/мин.}$$

Определяем приведенное значение числа оборотов турбины  $n'_1$  для максимального и минимального значения напора:

$$n'_1 = \frac{n \cdot D_1}{\sqrt{H_{min}}} = \frac{500 \cdot 1,2}{\sqrt{12}} = 173,2 \text{ об/мин,}$$

$$n'_1 = \frac{n \cdot D_1}{\sqrt{H_{max}}} = \frac{500 \cdot 1,2}{\sqrt{17}} = 145,5 \text{ об/мин.}$$

Определяем максимальный расход воды через турбину:

$$Q_{max} = \frac{N_3}{9,81 \cdot H_p \cdot \eta} \quad (23)$$

$$Q_{max} = \frac{3000}{9,81 \cdot 14 \cdot 0,875} = 24,96 \text{ м}^3/\text{с.}$$



$$Q_1' = \frac{Q_{max}}{D_1^2 \cdot \sqrt{H_{max}}} = \frac{24,96}{1,2^2 \cdot \sqrt{17}} = 4,2 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Определяем минимальный расход воды, приходящийся на летний период работы ГЭС:

$$Q_1' = \frac{Q_{max}}{D_1^2 \cdot \sqrt{H_{min}}} = \frac{24,96}{1,2^2 \cdot \sqrt{12}} = 5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Максимальная высота отсасывания турбины составляет:

$$H_s = \left( 10 - \frac{\nabla}{900} - 1,05 \cdot \sigma \cdot H \right) \quad (24)$$

где  $\sigma$  – коэффициент кавитации, принимаем равным 0,75;

$\nabla$  – величина, равная максимальному значению напора  $H_{max}$ .

$$H_s = \left( 10 - \frac{12}{900} - 1,05 \cdot 0,75 \cdot 16 \right) = 10 - \frac{12}{900} - 1,05 \cdot 0,75 \cdot 16 = 2,61 \text{ м}.$$

### Контрольные вопросы

1. Чем ограничивается максимальное число турбин на гидроэлектростанциях?
2. Каковы основные параметры гидротурбин?
3. Что характеризует коэффициент кавитации?

**ДИАГНОСТИКО-КОНТРОЛИРУЮЩИЙ БЛОК**

**Описание проверочного испытания**

<b>Проверочное испытание № 1 , вариант №</b>	
<b>Название:</b>	<b>Виды, основные направления использования и ресурсы возобновляемых источников энергии</b>
<b>Описание задачи:</b> 	Построить на одном листе гидравлическая энергия рек обусловлена проекцией силы тяжести на направление движения потока воды, которая определяется разностью уровней воды в начале и в конце рассматриваемого участка реки. При разности уровней $H$ [м] на длине участка $l$ [м] и среднем расходе воды $Q$ [м <sup>3</sup> /с], мощность водотока/* [Вт] составит:[8] $P = \rho g Q H = 9810 Q H$ (1) где $\rho$ - плотность воды, кг/м <sup>3</sup> ; $g$ - ускорение свободного падения, м/с <sup>2</sup> ..
<b>Нормированное время.</b>	50 мин
<b>Результаты обучения</b>	Осуществляет сборку конструкцию и исследование работы. Определяет по данным характеристикам гидравлическая энергия рек обусловлена проекцией силы тяжести на направление движения потока воды, которая определяется разностью уровней воды в начале и в конце рассматриваемого участка реки.
<b>Критерии оценки выполнения</b>	Понимает особенности конструкции, области применения и принципы работы гидравлическая энергия рек
<b>Порядок выполнения задания</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Прежде чем приступить к работе надо прочитать краткие теоретические сведения и условие задание.</li> <li>2) Логического анализа и синтеза; библиографический;</li> <li>3) Основными источниками послужили работы авторов в отрасли нетрадиционной энергетики.</li> </ol>

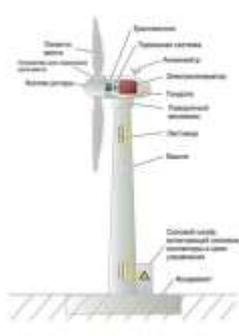
**КГКП КОСТАНАЙСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЫСШИЙ КОЛЛЕДЖ  
УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АКИМАТА КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ**

<b>Перечень необходимого оборудования и инструментов.</b>	Измерительные приборы, бумага, ручка, линейка, карандаш, калькулятор, нормативная литература.
<b>Место проведения:</b>	Лабораторный корпус №1, аудитория № 108
<b>Дата проведения:</b>	«    »    20    г.

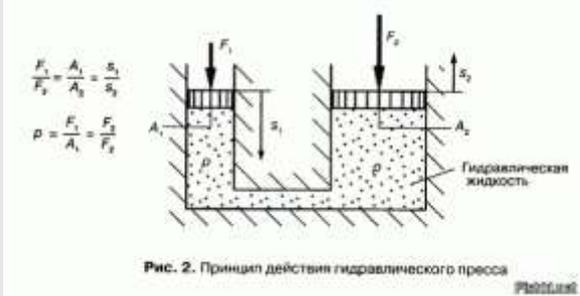
**Описание проверочного испытания**

<b>Проверочное испытание № 2 , вариант №</b>	
<b>Название:</b>	<b>Виды коллекторной солнечной энергии и их конструкция.</b>
<b>Описание задачи:</b>	Изучить конструкцию Выбираем две картонные коробки: одна коробка должна быть с выгнутым дном, вторая коробка обычная, прямоугольной формы (110x85 см.).Затем между двумя коробками мы прокладываем утеплитель (у меня это пенопласт),Затем внутреннюю сторону коробки выстилаем фольгой. Из двух коробок мы мастерим подобие домика, причем один из скатов крыши выглядит в виде створки, поверхность будет из стекла.
	
<b>Нормированное время.</b>	50 мин
<b>Результаты обучения</b>	создание установки солнечного концентратора своими руками.
<b>Критерии оценки выполнения</b>	Понимает устройство, солнечного концентратора
<b>Порядок выполнения задания</b>	1)Исследовать работу коллектор солнечной энергии . 3) Соберите конструкцию, коллектор солнечной энергии 4)В отчете опишите назначение каждого элемента схемы
<b>Перечень необходимого оборудования и инструментов.</b>	бумага, ручка, линейка, карандаш, калькулятор, нормативная литература..
<b>Место проведения:</b>	Лабораторный корпус №1, аудитория № 108
<b>Дата проведения:</b>	«    »    20    г.

**Описание проверочного испытания**

<b>Проверочное испытание № 3 , вариант № _____</b>	
<b>Название:</b>	<b>Конструкция ветроустановок</b>
<b>Описание задачи:</b> <div style="text-align: center;"> <p>Устройство ветрогенератора</p>  </div>	<p>Исходные данные для проектирования и разработки ветрогенератора Для разработки ветроустановки необходимыми данными является количество и мощность потребителей. С учетом того что ветроустановка разрабатывается для частного дома-коттеджа, то за основу взяты следующие потребители: титан, чайник, холодильник, компьютер, освещение, камеры видеонаблюдения, микроволновая печь, с общей мощностью 5,14кВт.</p>
<b>Нормированное время.</b>	50 мин
<b>Результаты обучения</b>	создание установки конструкция ветроустановок.
<b>Критерии оценки выполнения</b>	Понимает устройство, конструкция ветроустановок
<b>Порядок выполнения задания</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) спроектировать конструкцию ветрогенератора;</li> <li>2) рассчитать необходимую мощность ветрогенератора;</li> <li>3) рассчитать необходимое количество и емкость аккумуляторных батарей;</li> </ol>
<b>Перечень необходимого оборудования и инструментов.</b>	бумага, ручка, линейка, карандаш, калькулятор, нормативная литература..
<b>Место проведения:</b>	Лабораторный корпус №1, аудитория № 108
<b>Дата проведения:</b>	« _____ » _____ <b>20</b> _____ г.

**Описание проверочного испытания**

<b>Проверочное испытание № 4 , вариант № _____</b>	
<b>Название:</b>	<b>Основы гидравлической энергии</b>
<b>Описание задачи:</b>  <p align="center">Рис. 2. Принцип действия гидравлического пресса</p>	<p>Существуют два режима движения жидкостей: ламинарный и турбулентный. При ламинарном режиме течения частицы жидкости перемещаются по траекториям, направленным вдоль потока без поперечного перемещения. Поток жидкости образуется как бы отдельными параллельными слоями; пульсации скорости потока и давления жидкости отсутствуют</p>
<b>Нормированное время.</b>	50 мин
<b>Результаты обучения</b>	создание установки основы гидравлической энергии.
<b>Критерии оценки выполнения</b>	Понимает устройство, основы гидравлической энергии
<b>Порядок выполнения задания</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изучить режимы движения жидкости</li> <li>2. Ознакомиться с физическими основами функционирования гидравлических систем</li> <li>3. Оформить отчёт по практической работе</li> </ol>
<b>Перечень необходимого оборудования и инструментов.</b>	бумага, ручка, линейка, карандаш, калькулятор, нормативная литература..

**КГКП КОСТАНАЙСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЫСШИЙ КОЛЛЕДЖ  
УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АКИМАТА КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ**

<b>Место проведения:</b>	Лабораторный корпус №1, аудитория № 108
<b>Дата проведения:</b>	«_____» _____ <b>20</b> г.

**БАҚЫЛАУ ПАРАҒЫ  
КОНТРОЛЬНЫЙ ЛИСТ**

модуля «Применение средств и методов охраны труда и окружающей среды»

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ/ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ	ТИП ПРОВЕРОЧНОГО ИСПЫТАНИЯ				
	Тест	Самостоятельная работа	Карточки задания	Понятийный диктант	Зачет
<b>Результат обучения 1.</b>	Владеть общими положениями использования возобновляемого источников энергии.				
Критерий оценки 1. Понимает сущность использования возобновляемых и традиционных источников энергии.		√			
<b>Результат обучения 2.</b>	Владеть общими положениями солнечной энергии.				
Критерий оценки 1. Понимает сущность солнечной энергии. Виды коллекторной солнечной энергии и их конструкции.			√		
<b>Результат обучения 3.</b>	Владеть общими положениями основной теории ветроэнергии.				
Критерий оценки 1. Понимает сущность теории использования ветроэнергии и классификация ветродвигателей по принципу их работы.				√	
<b>Результат обучения 4.</b>	Владеть общими положениями основной гидравлической энергии.				
Критерий оценки 1. Понимает сущность гидравлической энергии и принципы построения микро и мини гидроэлектростанции.	√				√

Итоговый контроль по модулю:	1	1	1	1	1
------------------------------	---	---	---	---	---

## **Контрольно-измерительные материалы**

### **Тестовый материал**

#### **1. Характерной особенностью энергосистем на возобновляемых источниках энергии является:**

- 1) высокая интенсивность до 100 кВт/м<sup>2</sup> и выше;
- 2) небольшая стоимость оборудования на 1 кВт установленной мощности;
- 3) незначительное влияние на окружающую среду в небольших установках;
- 4) ограниченная область применения (в основном промышленность).

#### **2. Характерной особенностью энергосистем на возобновляемых источниках энергии является:**

- 1) рассеянная энергия с плотностью сотни Вт/м<sup>2</sup> ;
- 2) зависимость от поставок топлива;
- 3) небольшая стоимость оборудования на 1 кВт установленной мощности;
- 4) загрязнение окружающей среды;
- 5) ограниченная область применения (в основном промышленность).

#### **3. К электростанциям, использующим возобновляемые источники энергии, относятся:**

- 1) ГЭС, приливные, атомные;
- 2) приливные, волновые, солнечные;
- 3) ветровые, тепловые, ГЭС;
- 4) гидротермальные, химические, ветровые.

#### **4. Плоские коллекторы используют энергию солнечного излучения**

- 1) только рассеянную;
- 2) только прямую;
- 3) прямую и рассеянную;
- 4) отражённую.

#### **5. Концентраторы используют энергию солнечного излучения**

- 1) только рассеянную;
- 2) только прямую;
- 3) прямую и рассеянную.

#### **5. Фотобатареи используют энергию солнечного излучения**

- 1) только рассеянную;
- 2) только прямую;
- 3) прямую и рассеянную.

**7. Фотобатареи преимущественно используют спектр солнечного излучения**

- 1) ультрафиолетовый;
- 2) инфракрасный;
- 3) видимый.

**8. Система, использующая солнечную энергию для частичного или полного покрытия отопительной нагрузки потребителя без применения солнечных коллекторов и специального оборудования, когда приемниками и аккумуляторами солнечной энергии являются конструктивные элементы здания или сооружения называется:**

- 1) пассивная система солнечного отопления;
- 2) активная система солнечного отопления;
- 3) комбинированная система солнечного отопления.

**9. Система, использующая солнечную энергию для нагрева теплоносителя в солнечных коллекторах с целью частичного или полного покрытия отопительной нагрузки данного потребителя называется:**

- 1) пассивная система солнечного отопления;
- 2) активная система солнечного отопления;
- 3) комбинированная система солнечного отопления.

**10. Не требуется устройство слежения за солнцем в солнечной установке, называемой**

- 1) сферический концентратор;
- 2) парабоцилиндрический концентратор;
- 3) линза Френеля;
- 4) плоский коллектор.

**11. Начальный вращающий момент, развиваемый ветроколесом, при прочих равных условиях больше у ветроколеса**

- 1) однолопастного;
- 2) двухлопастного;
- 3) трёхлопастного;
- 4) многолопастного.

**12. Отношение энергии, воспринимаемой ветроколесом, к полной энергии, которой обладает воздушный поток называется:**

- 1) КПД ветроустановки;
- 2) КПД ветроколеса;
- 3) коэффициент использования энергии ветра;
- 4) коэффициент воздушного потока.

**13. В ветроустановках с вертикальной осью используется следующая система ориентации ветроколеса на ветер**

- 1) хвостовой флюгер;
- 2) виндроза;
- 3) сервопривод с датчиком направления ветра;
- 4) нет необходимости ориентации.

**14. Для получения механической энергии чаще находят применение ветроколеса**

- 1) однолопастные;
- 2) двухлопастные;
- 3) трёхлопастные;
- 4) многолопастные.

**15. Мощность ветроколеса в большей степени зависит от:**

- 1) диаметра ветроколеса;
- 2) скорости ветра;
- 3) коэффициента использования энергии ветра;

4) плотности воздуха.

**16. При одинаковом диаметре и скорости ветра частота вращения больше для ветроколеса с горизонтальной осью**

- 1) однолопастного;
- 2) двухлопастного;
- 3) трёхлопастного;
- 4) многолопастного.

**17. В системе автоматического регулирования частоты вращения ветроколеса в качестве исходного сигнала используется:**

- 1) скорость ветрового потока;
- 2) вращающий момент вала генератора;
- 3) удельная мощность ветрового потока;
- 4) какой-либо другой входной параметр.

**18. Мощность ветроэнергетической установки определяется:**

- 1) диаметром рабочего колеса, скоростью ветра, плотностью воздуха;
- 2) диаметром рабочего колеса, давлением ветра;
- 3) плотностью потока воздуха, скоростью ветра;
- 4) скоростью ветра, давлением ветра, плотностью воздуха.

**19. В состав ветроэлектрической установки входят:**

- 1) ветродвигатель, генератор электрической энергии;
- 2) ветродвигатель, редуктор, генератор электрической энергии;
- 3) ветродвигатель, машинное отделение, опора;
- 4) пропеллер, генератор, опора.

**20. Мощность проектируемой ГЭС рассчитывается по параметрам:**

- 1) напор, давление;
- 2) напор, расход;
- 3) расход, скорость потока воды;
- 4) давление, скорость потока воды.

**21. Из перечисленных гидротурбин является активной:**

- 1) гидротурбина Пельтона (ковшовая);
- 2) турбина Каплана (пропеллерная или лопастная);
- 3) турбина Фрэнсиса (радиально-осевая).

**22. Мощность водотока при напоре  $H = 5$  м и расходе  $Q = 0,5$  м<sup>3</sup>/с будет равна:**

1. 5 кВт;
- 2) 10 кВт;
- 3) 25 кВт;
- 4) 50 кВт.

**23. Работа приливной электростанции невозможна в случае, если**

- 1) уровень воды в море выше уровня воды в бассейне;
- 2) уровень воды в бассейне выше уровня моря;
- 3) уровень воды в море выше уровня воды в бассейне или наоборот;
- 4) уровень воды в море равен уровню в бассейне.

**24. Прямое осознанное или косвенное и неосознанное воздействие человека и результатов его деятельности, вызывающее изменение природной среды и естественных ландшафтов называется:**

- 1) экологический мониторинг;
- 2) антропогенное воздействие на природу;
- 3) промышленная революция;
- 4) экоцид.

**25. Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую называется:**

- 1) фотоэлектрическое;

- 2) люминесцентное;
- 3) фотоэлектрическое;
- 4) гелиоэлектрическое.

**26. К основным элементам солнечной тепловой электростанции не относится:**

- 1) концентратор;
- 2) теплоприемник;
- 3) тепловой аккумулятор;
- 4) солнечная батарея.

**27. Ток солнечной батареи можно увеличить:**

- 1) путем последовательного включения солнечных элементов;
- 2) путем параллельного включения солнечных элементов;
- 3) путем подключения к ней буферного конденсатора.

**28. Напряжение солнечной батареи можно увеличить:**

- 1) путем последовательного включения солнечных элементов;
- 2) путем параллельного включения солнечных элементов;
- 3) путем подключения к ней буферного конденсатора.

**29. К факторам неблагоприятного воздействия ветроэнергетики на окружающую среду не относятся:**

- 1) отчуждение земель;
- 2) изменение теплового баланса, затенение больших территорий;
- 3) электромагнитное излучение и помехи;
- 4) акустическое воздействие.

**30. Республика Башкортостан относится к территориям со среднегодовой скоростью ветра:**

- 1) выше 6 м/с;
- 2) 3,5...6 м/с;
- 3) до 3,5 м/с.

**31. Сводные сведения об энергетических ресурсах ветра, составленные в виде таблиц, диаграмм, графиков и карт для определённой территории называются:**

- 1) ветровая схема;
- 2) ветровая энергия;
- 3) ветровой кадастр;
- 4) роза ветров.

**32. Ветроэлектростанции, возводимые на небольшом удалении от берега, называются:**

- 1) плавающие;
- 2) оффшорные;
- 3) прибрежные;
- 4) передвижные.

**33. Небольшое многолопастное ветроколесо, служащее для автоматической ориентации основного колеса ветродвигателя относительно воздушного потока называется:**

- 1) направляющий аппарат;
- 2) гондола;
- 3) ротор Дарье;
- 4) виндроza.

**34. Зависимость выходной мощности ветроагрегата от скорости ветра незаторможенного потока называется:**

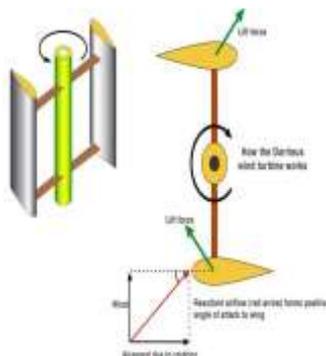
- 1) скоростная характеристика;
- 2) вольтамперная характеристика;
- 3) энергетическая характеристика;

- 4) механическая характеристика;
- 5) ветроэнергетическая характеристика.

**35. Отношение величины механической энергии, развиваемой ветроколесом, и полной энергии ветра, проходящей через ометаемую площадь ветроколеса называется:**

- 1) коэффициент полезного действия;
- 2) коэффициент мощности;
- 3) коэффициент использования энергии ветра;
- 4) коэффициент механической энергии.

**36. На рисунке представлено изображение**



- 1) ротора Савониуса;
- 2) ротора Дарье;
- 3) диагональной ветротурбины.

**37. Глубинное тепло земли относится к следующему виду энергии:**

- 1) кинетическая;
- 2) потенциальная;
- 3) солнечная;
- 4) магматическая;
- 5) геотермальная.

**38. В комбинированных системах геотермальное тепло используется для**

- 1) отопления жилых помещений;
- 2) приготовления пищи;
- 3) подогрева питательной воды на тепловых электростанциях;
- 4) горячего водоснабжения.

**39. Месторождения пароводяных смесей РФ, перспективных для освоения, расположены главным образом:**

- 1) в Ямало-Ненецком АО, Тюменской области;
- 2) на Южном Урале;
- 3) в шельфах Каспийского и Черного морей;
- 4) на Камчатке, Курильских островах, о. Сахалин.

**40. Наиболее интенсивными являются приливы, возникающие под влиянием притяжения:**

- 1) Солнца;
- 2) Луны;
- 3) Земли;
- 4) Венеры.

**41. Отношение фактической (планируемой) выработки к экономически целесообразной (возможной) называется:**

- 1) коэффициент выработки за счет вторичных энергетических ресурсов;

- 2) коэффициент утилизации вторичных энергетических ресурсов;
- 3) экономия топлива за счет вторичных энергетических ресурсов.

**42. Для утилизации тепла уходящих дымовых газов котельных применяется:**

- 1) тепловой насос;
- 2) градирня;
- 3) экономайзер;
- 4) бойлер.

**43. Шлаки, образующиеся при переработке твердых бытовых отходов, могут успешно использоваться:**

- 1) в качестве удобрений;
- 2) для производства строительных материалов;
- 3) для производства стекла;
- 4) для получения синтетической нефти и спиртов.

**44. Продуктом высокоскоростного пиролиза не является:**

- 1) полукокс;
- 2) бензин;
- 3) энергетический газ;
- 4) смола.

**45. Наиболее эффективным способом использования водорода является применение его в виде:**

- 1) 30...50%-ной добавки к бензину;
- 2) 5...10%-ной добавки к бензину;
- 3) чистого топлива.

**УКАЖИТЕ НОМЕРА ДВУХ ПРАВИЛЬНЫХ ОТВЕТОВ**

**46. Основные преимущества возобновляемых источников энергии:**

- 1) неисчерпаемость;
- 2) экологическая чистота;
- 3) дешевизна;
- 4) возможность получения как электроэнергии, так и тепла.

**47. Основные направления использования солнечной энергии:**

- 1) получение тепловой энергии;
- 2) прямое преобразование ее в механическую энергию;
- 3) преобразование ее в электрическую энергию;
- 4) преобразование ее в химическую энергию.

**48. Приливная энергия характеризуется**

- 1) неизменностью ее среднемесячного потенциала в сезонном и многолетних циклах;
- 2) увеличением ее среднемесячного потенциала в весенне-летний и уменьшением в осенне-зимний периоды;
- 3) прерывистостью в течение суток;
- 4) уменьшением ее среднемесячного потенциала в весенне-летний и увеличением в осенне-зимний периоды.

**49. В целлюлозно-бумажной промышленности горючими вторичными энергетическими ресурсами являются:**

- 1) конвертерный газ;
- 2) сульфитный и сульфатный щелоки;
- 3) сажевый шлам;
- 4) кора и древесные отходы;
- 5) ацетилен и метанол.

**50. Биогазовая установка предназначена для выработки**

- 1) горючего газа;
- 2) этилового спирта;

- 3) высококачественного удобрения;
- 4) синтетической нефти.

**УКАЖИТЕ НОМЕРА ТРЕХ ПРАВИЛЬНЫХ ОТВЕТОВ**

**51. Основные виды ГЭС, это:**

- 1) напорные;
- 2) гидроэлектрические;
- 3) приливные;
- 4) гидроаккумулирующие;
- 5) отливные.

**52. По виду энергии вторичные энергетические ресурсы разделяются на следующие группы:**

- 1) топливные (горючие);
- 2) тепловые;
- 3) электрические;
- 4) химические;
- 5) биологические;
- 6) ресурсы с избыточным давлением.

**53. К основным направлениям производства энергетического топлива из отходов лесопереработки относятся:**

- 1) гидролиз с получением спиртов;
- 2) анаэробное сбраживание;
- 3) получение синтетической нефти;
- 4) термическое растворение;
- 5) пиролиз с получением пиролитического топлива и газа.

**УСТАНОВИТЕ СООТВЕТСТВИЕ**

**54. Установите соответствие между типами запасов глубинного тепла Земли и их характеристиками:**

	Тип запасов		Характеристика
1	Геотермальные	1	Тепло сухих горных пород
2	Парогидротермальные	2	Месторождения горячей воды с температурой от 20 до 100...120°C
3	Петротермальные	3	Месторождения пароводяной смеси и пара с температурой от 100...120 до 250°C

**ДОПОЛНИТЕ**

**55. На тепловых электростанциях в электроэнергию преобразуется теплота, выделяющаяся при \_\_\_\_\_ топлива.**

**56. Явление изменения электропроводности полупроводника под действием света называется \_\_\_\_\_.**

**57. Векторная диаграмма, характеризующая режим ветра в данном месте по многолетним наблюдениям и выглядящая как многоугольник, у которого длины лучей, расходящихся от центра диаграммы в разных направлениях, пропорциональны повторяемости ветров этих направлений, называется \_\_\_\_\_ ветров.**

58. Полная энергия ветрового потока какой-либо местности на определенной высоте над поверхностью земли называется \_\_\_\_\_.

59. Машина, переносящая теплоту с более высокого на более низкий температурный уровень, затрачивающая при этом меньшее количество энергии, чем переносимая тепловая энергия, называется \_\_\_\_\_.

60. Превращение высокомолекулярных веществ органической массы угля под давлением водорода в жидкие и газообразные продукты при 400...500°C в присутствии различных веществ - органических растворителей, катализаторов и т.д. называется \_\_\_\_\_.

**Таблица ответов по дисциплине**

**«Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»**

<i>Ответы к заданиям с одним правильным ответом</i>									
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
3	1	2	3	2	3	3	1	2	4
<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
4	3	4	4	2	1	1	1	2	2
<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
1	3	4	2	3	4	2	1	2	2
<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>
3	3	4	3	3	2	5	3	4	2
<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>45</b>					
1	3	2	2	2					
<i>Ответы к заданиям с двумя правильными ответами</i>									
<b>46</b>	<b>47</b>	<b>48</b>	<b>49</b>	<b>50</b>					
1,2	1,3	1,3	2,4	1,3					
<i>Ответы к заданиям с тремя правильными ответами</i>									
<b>51</b>	<b>52</b>	<b>53</b>							
2,3,4	1,2,6	1,3,5							
<i>Ответы к заданиям на соответствие</i>									
<b>54</b>									
1-2,2-3,3-1									
<i>Ответы к заданиям на дополнение</i>									
<b>55</b>	<b>56</b>	<b>57</b>							
сжигании	фотопроводимость	роза							
<b>58</b>	<b>59</b>	<b>60</b>							

**Рефераттар мен баяндамалардың тақырыптары.**

**Тематика рефератов и докладов**

- 1 Суммарная, прямая и диффузная радиации.
- 2 Плоские солнечные коллекторы для нагрева.
- 3 Фокусирующие солнечные коллекторы для нагрева.
- 4 Спектральное распределение прямой солнечной радиации.
- 5 Жидкостные и воздушные системы.
- 6 Конструкция солнечных элементов.
- 7 Солнечные отопительные системы.
- 8 Теория расчета плоских коллекторов солнечной энергии.
- 9 Основы теории ветроэнергетических установок.
- 10 Теория идеального ветроколеса.
- 11 Теория реального ветроколеса Сабинина.
- 12 Потенциальные, технические и экономические ветроэнергоресурсы.
- 13 Аккумуляция энергии ветра.
- 14 Пиролиз и другие термохимические процессы.
- 15 Техничко-экономические показатели использования возобновляемых источников энергии.
- 16 Методика расчета выхода биогаза из отходов сельскохозяйственного производства.
- 17 Спиртовая ферментация биогаза.
- 18 Ветровые установки для получения теплоты.
- 19 Типы ветроэлектрических установок и станций
- 20 Зарубежные конструкции биогазовых установок.
- 21 Схемы использования водной энергии.
- 22 Напор, мощность и выработка энергии на ГЭС.
- 23 Конструкция гидротурбин.
- 24 Использование биоэнергетических установок.
- 25 Использование энергии земли.
- 26 Солнечно-насосные системы.
- 27 Тепловые насосы.
- 28 Энергия термальных вод.
- 29 Экономическая эффективность использования жидкостных гелиосистем теплоснабжения.
- 30 Гидроэлектростанции Казахстана.

**Қорытынды бақылауға арналған сұрақтар**

**Вопросы для итогового контроля**

- 1 Схема получения электроэнергии солнечных электростанций.
- 2 Размещение солнечных электростанций.
- 3 Возможности использования солнечной энергии.
- 4 Приборы для измерения солнечной энергии.
- 5 Коллекторы солнечной энергии.
- 6 Системы использования солнечной энергии.
- 7 Приборы для измерения скорости ветра.
- 8 Классификация ветродвигателей.
- 9 Типы ветроэлектрических установок.
- 10 Характеристика ветрового режима.
- 11 Ветро-энергетический кадастр.
- 12 Структура ветрового потока и средней скорости ветра
- 13 Основные величины характеризующие ветер с энергетической стороны.
- 14 Основные направления использования энергии ветра в с.х.
- 15 Использование сбросной теплоты сельскохозяйственных зданий
- 16 Основные принципы преобразования энергии водного потока.
- 17 Способы получения биогаза из биомассы.
- 18 Работа ветродвигателей с центробежными насосами.
- 19 Состав биогаза.
- 20 Использование энергии рек.
- 21 Типы гидроэлектростанций.
- 22 Основные параметры гидротурбин.
- 23 Классификация гидротурбин.
- 25 Теплоснабжение животноводческих помещений.
- 26 Теплоснабжение домов и теплиц.
- 27 Геотермальные установки.
- 28 Совместное подключение солнечных и ветровых установок.
- 29 Отличие нетрадиционных видов энергии от традиционных.
- 30 Достоинства и недостатки ГЭС.

### **Заключение**

Для освоения этого модуля необходимы знания, умения и навыки, полученные при изучении физики, математики, электротехнических чертежей

Также после освоение модуля «Внедрение нетрадиционных источников» в дальнейшем способствует успешному освоению профилирующих дисциплин: электроэнергетика, основы электроснабжения, электрические машины, электромеханика и электротехническое оборудование.

Были достигнуты задачи:

- овладение студентами основных научных принципов получения энергии при помощи нетрадиционных методов;
- ознакомление с устройством, принципом работы и основами эксплуатации установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;
- овладение методами проектирования установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;
- ознакомление с методами оценки технико-экономического и народно-хозяйственного значения использования установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

Потенциал возобновляющихся энергоресурсов, питающихся энергией солнца и возникающих вследствие взаимодействия Земли, Луны и Солнца, огромен. Были разработаны различные технологии по извлечению и использованию их энергии, которые непрерывно совершенствуются, что повышает конкурентоспособность возобновляемых источников энергии по сравнению с традиционными. Большинство возобновляемых источников энергии являются экологически чистыми, что сегодня является явным преимуществом. Биомасса и энергия ветра уже сейчас играет немало важную роль в энергетическом балансе некоторых стран. Проекты по использованию энергии волн и преобразовании термальной энергии океана большей частью находятся на стадии разработки, и их использование ограничено несколькими экспериментальными установками. Энергия приливов уже сейчас используется на коммерческом уровне и обещает серьезное развитие.

Будущее возобновляемых источников энергии, обсуждаемых здесь, зависит от ряда факторов: рост энергопотребления, рост численности населения, цены на ископаемое топливо, общественное мнение по поводу развития атомной энергетики, экологические вопросы и множество других.

**ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТ  
ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

**Основная литература**

1. Глеуов А.Х. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Учебное пособие. – Астана: КГАУ им. С.Сейфуллина, 2004  
Методы расчета ресурсов возобновляемых источников энергии. - М.: МЭИ, 2013.
2. Новикова, Ольга Альтернативные источники энергии Новой Зеландии / Ольга Новикова. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2014.
3. Сибикин, Ю. Д. Альтернативные источники энергии / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - М.: РадиоСофт, 2014.

**Дополнительная:**

1. А., да Роза Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы / А. да Роза. - М.: МЭИ, Интеллект, 2010. -
2. Биомасса как источник энергии. - Москва: Машиностроение, 2013.
3. Вест, К. Источник энергии / К. Вест. - Москва: ИЛ, 2012.
4. Земсков, В. И. Возобновляемые источники энергии в АПК. Учебное пособие / В.И. Земсков. - М.: Лань, 2014

**Средства обучения:**

1. Технические средства обучения (компьютер, проектор, видеотехника).
2. Макеты.
3. Плакаты.