

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Кафедра химических технологий

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
«АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ»**

**для студентов ВлГУ, обучающихся по направлению  
18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии»**

Владимир – 2016 г.

Данные методические указания включают рекомендации по содержанию и выполнению лабораторных работ по дисциплине «Альтернативные источники энергии» для студентов направления 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» ВлГУ.

Методические указания составлены на основе требований ФГОС ВО и ОПОП направления 18.03.02. «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», рабочей программы дисциплины «Альтернативные источники энергии».

Рассмотрены и одобрены на  
заседании УМК направления  
18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие  
процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии»  
Протокол № 1 от 5.09.2016 г.  
Рукописный фонд кафедры ХТ ВлГУ

## СОДЕРЖАНИЕ

Наименование лабораторной работы	Стр.
Лабораторная работа 1. Элементы гелиосистем. Плоские солнечные коллекторы. Пассивная и активная системы отопления. Концентрирующие гелиоприемники. Жидкостная комбинированная двухконтурная низкотемпературная система солнечного отопления.	
Лабораторная работа 2. Физические основы процессов преобразования солнечной энергии	
Лабораторная работа 3. Схема водяной низкотемпературной системы солнечного отопления с солнечными коллекторами. Тепловое аккумулирование для солнечного обогрева и охлаждения помещений	
Лабораторная работа 4. Жидкостная двухконтурная комбинированная низкотемпературная система солнечного отопления с плоскими коллекторами. Аккумулирование тепла солнечной энергии на основе использования теплоты фазового перехода	
Лабораторная работа 5 Работа ветрового колеса крыльчатого ветродвигателя	
Лабораторная работа 6. Использование геотермальной энергии для выработки тепловой и электрической энергии	
Лабораторная работа 7. Преобразователи энергии волн	
Лабораторная работа 8. Производство биомассы для энергетических целей	
Лабораторная работа 9. Термохимические процессы биоэнергетики	

**Лабораторная работа 1.** Элементы гелиосистем. Плоские солнечные коллекторы. Пассивная и активная системы отопления. Концентрирующие гелиоприемники. Жидкостная комбинированная двухконтурная низкотемпературная система солнечного отопления.

### *Теоретическая часть*

Классификация и основные элементы гелиосистем Системами солнечного отопления называются системы, использующие в качестве теплоисточника энергию солнечной радиации. Их характерным отличием от других систем низкотемпературного отопления является применение специального элемента – гелиоприемника, предназначенного для улавливания солнечной радиации и преобразования ее в тепловую энергию.

По способу использования солнечной радиации системы солнечного низкотемпературного отопления подразделяют на пассивные и активные.

*Пассивными* называются системы солнечного отопления, в которых в качестве элемента, воспринимающего солнечную радиацию и преобразующего ее в теплоту, служат само здание или его отдельные ограждения (здание-коллектор, стена-коллектор, кровля-коллектор и т. п. (рис1)).

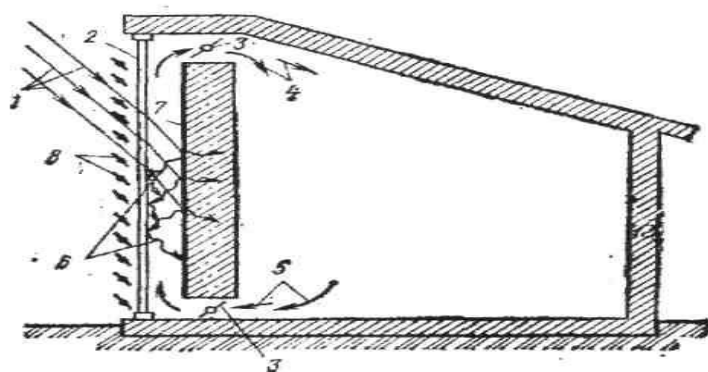


Рис. 1. Пассивная низкотемпературная система солнечного отопления «стена-коллектор»:

1 – солнечные лучи; 2 – лучепрозрачный экран; 3 – воздушная заслонка; 4 – нагретый воздух; 5 – охлажденный воздух из помещения; 6 – собственное длинноволновое; 7 – черная луче-

*Активными называются системы* солнечного низкотемпературного отопления, в которых гелиоприемник является самостоятельным отдельным устройством, не относящимся к зданию. Активные гелиосистемы могут быть подразделены: – по назначению (системы горячего водоснабжения, отопления, комбинированные системы для целей теплоснабжения); – по виду используемого теплоносителя (жидкостные – вода, анти-

фриз и воздушные); – по продолжительности работы (круглогодичные, сезонные); – по техническому решению схем (одно-, двух-, многоконтурные).

Основными элементами активной солнечной системы является гелиоприемник, аккумулятор теплоты, дополнительный источник или трансформатор теплоты (тепловой насос), ее потребитель (системы отопления и горячего водоснабжения зданий). Выбор и компоновка элементов в каждом конкретном случае определяются климатическими факторами, назначением объекта, режимом теплоснабжения, экономическими показателями. Концентрирующие гелиоприемники представляют собой сферические или параболические зеркала, параболоцилиндры представленные на рис. 1

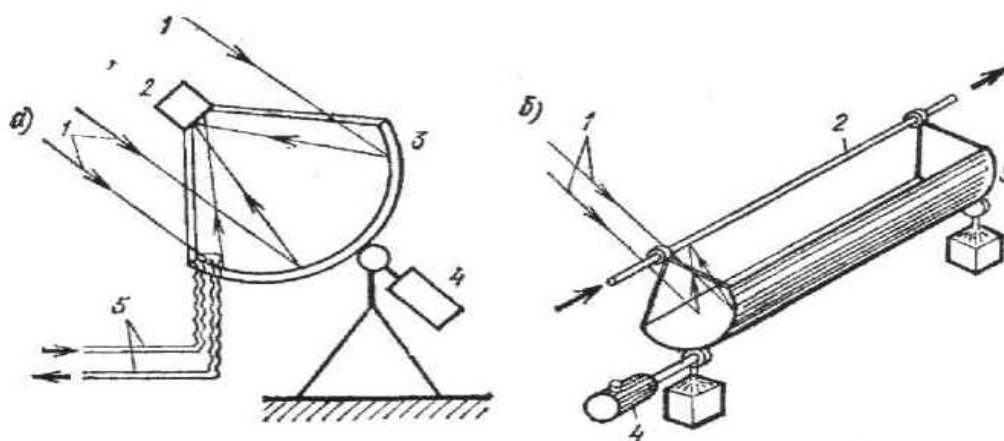


Рис. 2. Концентрирующие гелиоприемники: а – параболический концентратор; б – параболоцилиндрический концентратор; 1 – солнечные лучи; 2 – тепловоспринимающий элемент (солнечный коллектор); 3 – зеркало; 4 – механизм привода системы слежения; 5 – трубопроводы подводящие и отводящие теплоноситель

Преимуществом систем с концентрирующими гелиоприемниками является способность выработки теплоты с относительно высокой температурой (до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и даже пара. К недостаткам следует отнести высокую стоимость конструкции; необходимость постоянной очистки отражающих поверхностей от пыли; работу только в светлое время суток, а следовательно, потребность в аккумуляторах большого объема; большие энергозатраты на привод системы слежения за ходом Солнца, соизмеримые с вырабатываемой энергией.

В последнее время наиболее часто для солнечных низкотемпературных систем отопления применяют плоские гелиоприемники. Схема представлена на рис. 3

Для обеспечения высокой эффективности процесса улавливания и преобразования солнечной радиации концентрирующий гелиоприемник должен быть постоянно направлен строго на Солнце.

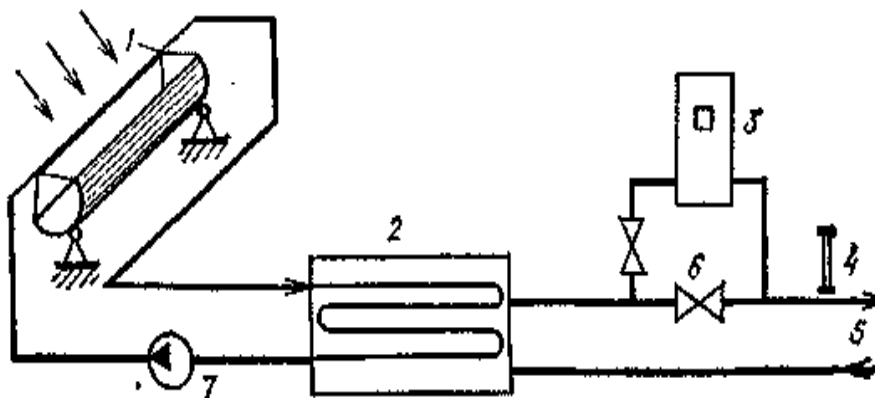


Рис. 3. Жидкостная комбинированная двухконтурная низкотемпературная система солнечного отопления с параболоцилиндрическим концентратором и жидкостным теплоаккумулятором: 1 – параболоцилиндрический концентратор; 2 – жидкостный теплоаккумулятор; 3 – дополнительный теплоисточник; 4 – термометр; 5 – контур системы отопления; 6 – регулирующий вентиль; 7 – циркуляционный насос.

**Цель выполнения лабораторной работы:** изучить элементы гелиосистем. Плоские солнечные коллекторы. Пассивная и активная системы отопления. Концентрирующие гелиоприемники. Жидкостная комбинированная двухконтурная низкотемпературная система солнечного отопления.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия.
2. Нарисовать схемы 1-3 элементов гелиообогрева.
3. Обозначить узлы и детали.
4. Перечислить основные элементы концентрирующих гелиоприемников.
5. Рассказать достоинства и недостатки концентрирующих гелиоприемников.
6. Рассказать принцип работы.

#### **Варианты индивидуальных или групповых заданий**

Лабораторная работа оформляется и защищается каждым студентом индивидуально в полном объеме.

#### **Содержание отчета по лабораторной работе**

Оформить отчет 4-5 страниц текста формата А4, набранных через полуторный интервал кеглем 12. В отчете отразить теоретическую часть, все схемы гелиоустановок.

#### **Контрольные вопросы**

1. Работа пассивной низкотемпературной системы солнечного отопления «стена-коллектор»
2. Работа концентрирующих гелиоприемников

3. Работа жидкостной комбинированной двухконтурной низкотемпературной системы солнечного отопления с параболоцилиндрическим концентратором и жидкостным теплоаккумулятором

#### Список литературы:

1. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы [Электронный ресурс] / **В. Германович, А. Турилин.** - СПб. : Наука и техника, 2014. Студенческая научная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785943878527.html>
2. Биологическая и термохимическая переработка органосодержащих материалов [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / **А.Ф. Куфтов, А.В. Лихачева.** - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. Студенческая научная библиотека «Консультант студента» [http://www.studentlibrary.ru/book/bauman\\_0202.html](http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0202.html).
3. **Сибикин Ю.Д.** Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин .— 2-е изд., стер. — Москва : КноРус, 2012 .— 228 с. ЭБС «Znanium» <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=400962>.
4. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / **Баранов Н.Н.** - М. : Издательский дом МЭИ, 2012. Студенческая научная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/MPEI171.html>.
5. Мархоцкий, Я.Л. **Основы экологии и энергосбережения** [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Я.Л. Мархоцкий. – Минск: Вышэйшая школа, 2014. – 287 с.: ил. ЭБС «Znanium» <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=509530>
6. Текст лекций.

Лабораторная работа 2. Физические основы процессов преобразования солнечной энергии

## **Физические основы процессов преобразования солнечной энергии**

### **План лекции**

1. Интенсивность солнечного излучения 2. Фотоэлектрические свойства p–n перехода. Конструкция простейшего солнечного элемента 3. Конструкции и материалы солнечных элементов. Аморфный кремний. 4. Арсенид галлия. 5. Поликристаллические тонкие пленки 6. Теллурид кадмия 7. Органические материалы

**1. Интенсивность солнечного излучения.** Источником энергии солнечного излучения служит термоядерная реакция на Солнце. Основная часть этой энергии испускается в виде электромагнитного излучения в диапазоне 0,2-3 мкм. При прохождении через атмосферу солнечный свет ослабляется, в основном из-за поглощения инфракрасного излучения парами воды, ультрафиолетового излучения – озоном и рассеяния излучения молекулами газов и находящимися в воздухе частицами пыли и аэрозолями. Параметром, отражающим влияние атмосферы на интенсивность и спектральный состав солнечного излучения, достигающего до земной поверхности, является атмосферная (или воздушная) масса (AM). При нулевой воздушной массе  $AM_0$  интенсивность излучения равна  $EC = 1360 \text{ Вт/м}^2$ .

Величина  $AM_1$  соответствует прохождению солнечного излучения через

безоблачную атмосферу до уровня моря при зенитальном расположении Солнца. Наиболее характерной в земных условиях является величина  $AM_{1,5}$  ( $\theta \approx 42^\circ$ ). Она принята за стандартную при интегральной поверхностной плотности солнечного излучения  $EC = 835 \text{ Вт/м}^2$ , что необходимо при обеспечении сравнимости результатов исследований различных солнечных элементов.

**2. Фотоэлектрические свойства p–n перехода** Простейшая конструкция солнечного элемента на основе монокристаллического кремния показана на



рис. 1. На малой глубине от поверхности кремниевой пластины p-типа сформирован p–n-переход с тонким металлическим контактом. На тыльную сторону пластины нанесен сплошной металлический контакт.

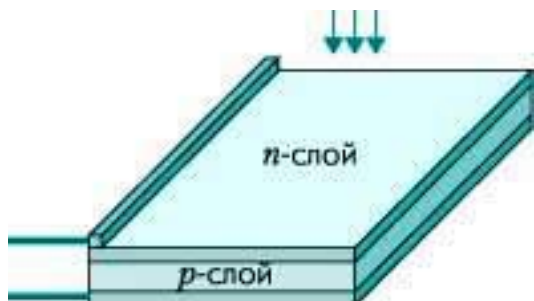


Рис. 1. Конструкция простейшего солнечного элемента

Пусть p–n-переход расположен вблизи от освещаемой поверхности полупроводника. При использовании солнечного элемента в качестве источника

электроэнергии к его выводам должно быть подсоединено сопротивление нагрузки  $R_n$

### 3. Конструкции и материалы солнечных элементов (СЭ)

Производство структур на основе монокристаллического кремния – процесс технологически сложный и дорогостоящий. Поэтому внимание было обращено на такие материалы, как сплавы на основе аморфного кремния (a-Si:H), арсенид галлия и поликристаллические полупроводники.

**Аморфный кремний** выступил в качестве более дешевой альтернативы монокристаллическому. Первые СЭ на его основе были созданы в 1975 году. Оптическое поглощение аморфного кремния в 20 раз выше, чем кристаллического, для существенного поглощения видимого света достаточно пленки a-Si:H толщиной 0,5–1,0 мкм вместо дорогостоящих кремниевых 300-мкм подложек. Изделия на основе a-Si:H производят при более низких температурах (300°C): можно использовать дешевые стеклянные подложки, что сократит расход кремния в 20 раз.

КПД экспериментальных элементов на основе a-Si:H – 12%, КПД кристаллических кремниевых СЭ (~15%).

**4. Арсенид галлия** – один из наиболее перспективных материалов для создания высокоэффективных солнечных батарей. Это объясняется следующими его особенностями:

- почти идеальная для однопереходных солнечных элементов ширина за-

прещенной зоны 1,43 эВ;

- повышенная способность к поглощению солнечного излучения,  $\delta = 1-5$  мкм
- высокая радиационная стойкость,
- относительная нечувствительность к нагреву батарей на основе GaAs;
- характеристики сплавов GaAs с алюминием, мышьяком, фосфором или индием дополняют характеристики GaAs, что расширяет возможности при проектировании солнечных элементов.

Главное достоинство арсенида галлия и сплавов на его основе – широкий диапазон возможностей конструирования СЭ. Типичный солнечный элемент на основе GaAs состоит из очень тонкого слоя AlGaAs в качестве окна.

Основной недостаток арсенида галлия – высокая стоимость. Для удешевления производства предлагается формировать СЭ на более дешевых подложках; выращивать слои GaAs на удаляемых подложках или подложках многократного использования.

**5. Поликристаллические тонкие пленки** также весьма перспективны для солнечной энергетики. Чрезвычайно высока способность к поглощению солнечного излучения у диселенида меди и индия ( $\text{CuInSe}_2$ ) – 99 % света поглощается в первом микроне этого материала (ширина запрещенной зоны – 1,0 эВ) [2,5]. Наиболее распространенным материалом для изготовления окна солнечной батареи на основе  $\text{CuInSe}_2$  является CdS. Иногда для улучшения прозрачности окна в сульфид кадмия добавляют цинк. Немного галлия в слое  $\text{CuInSe}_2$  увеличивает ширину запрещенной зоны, что приводит к росту напряжения холостого хода и, следовательно, повышению эффективности устройства. Один из основных способов получения  $\text{CuInSe}_2$  – электрохимическое осаждение из растворов  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{SeO}_2$  в деионизованной воде при соотношении компонентов Cu:In:Se как 1:5:3 и  $\text{pH} \gg 1,2-2,0$ .

**6. Теллурид кадмия ( $\text{CdTe}$ )** – еще один перспективный материал для фо-

товольтаики. У него почти идеальная ширина запрещенной зоны (1,44 эВ) и очень высокая способность к поглощению излучения. Пленки CdTe достаточно дешевы в изготовлении. Кроме того, технологически несложно получать разнообразные сплавы CdTe с Zn, Hg и другими элементами для создания слоев с заданными свойствами. Элементы на основе CdTe включают гетеропереход с CdS в качестве оконного слоя. Оксид олова используется как прозрачный контакт и просветляющее покрытие. Пленки CdTe обладают высокой подвижностью носителей заряда, а солнечные элементы на их основе – высокими значениями КПД, от 10 до 16%.

**7. органические материалы** занимают среди солнечных элементов особое место. Коэффициент полезного действия солнечных элементов на основе диоксида титана, покрытого органическим красителем, весьма высок – ~11 %. Основа солнечных элементов данного типа – широкозонный полупроводник, обычно TiO<sub>2</sub>, покрытый монослоем органического красителя. Принцип работы элемента основан на фотовозбуждении красителя и быстрой инжекции электрона в зону проводимости TiO<sub>2</sub>. При этом молекула красителя окисляется, через элемент идет электрический ток и на платиновом электроде происходит восстановление трииодида до иодида. Затем иодид проходит через электролит к фотоэлектроду, где восстанавливает окисленный краситель.

**Вывод: в лекции рассмотрено состояние и перспективы использования солнечных элементов их конструкции и материалов для их изготовления.**

*Вопросы:*

1. Интенсивность солнечного излучения
2. Фотоэлектрические свойства p–n перехода. Конструкция простейшего солнечного элемента
3. Конструкции и материалы солнечных элементов. Аморфный кремний.
4. Арсенид галлия.
5. Поликристаллические тонкие пленки
6. Теллурид кадмия

## 7. Органические материалы

Лабораторная работа 3. Схема водяной низкотемпературной системы солнечного отопления с солнечными коллекторами. Тепловое аккумулирование для солнечного обогрева и охлаждения помещений	
Лабораторная работа 4. Жидкостная двухконтурная комбинированная низкотемпературная система солнечного отопления с плоскими коллекторами. Аккумулирование тепла солнечной энергии на основе использования теплоты фазового перехода	
Лабораторная работа 5 Работа ветрового колеса крыльчатого ветродвигателя	
Лабораторная работа 6. Использование геотермальной энергии для выработки тепловой и электрической энергии	
Лабораторная работа 7. Преобразователи энергии волн	
Лабораторная работа 8. Производство биомассы для энергетических целей	
Лабораторная работа 9. Термохимические процессы биоэнергетики	

### **Лабораторная работа 3.** Жидкостная комбинированная двухконтурная низкотемпературная система солнечного отопления

#### *Теоретическая часть*

Преимуществом систем с концентрирующими гелиоприемниками является способность выработки теплоты с относительно высокой температу-

рой (до 100 °С) и даже пара. К недостаткам следует отнести высокую стоимость конструкции; необходимость постоянной очистки отражающих поверхностей от пыли; работу только в светлое время суток, а следовательно, потребность в аккумуляторах большого объема; большие энергозатраты на привод системы слежения за ходом Солнца, соизмеримые с вырабатываемой энергией. Эти недостатки сдерживают широкое применение активных низкотемпературных систем солнечного отопления с концентрирующими гелиоприемниками.

В последнее время наиболее часто для солнечных низкотемпературных систем отопления применяют плоские гелиоприемники. Схема представлена на рис. 3

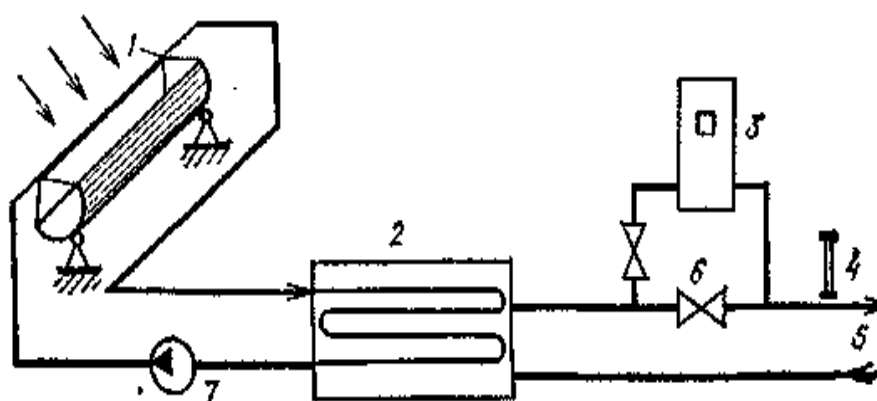


Рис. 3. Жидкостная комбинированная двухконтурная низкотемпературная система солнечного отопления с параболоцилиндрическим концентратором и жидкостным теплоаккумулятором: 1 – параболоцилиндрический концентратор; 2 – жидкостный теплоаккумулятор; 3 – дополнительный теплоисточник; 4 – термометр; 5 – контур системы отопления; 6 – регулирующий вентиль; 7 – циркуляционный насос.

Для обеспечения высокой эффективности процесса улавливания и преобразования солнечной радиации концентрирующий гелиоприемник должен быть постоянно направлен строго на Солнце.

С этой целью гелиоприемник снабжают системой слежения, включающей датчик направления на Солнце,

электронный блок преобразования сигналов, электродвигатель с редуктором для поворота конструкции гелиоприемника в двух плоскостях

***Задание:***

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия
2. Нарисовать схему жидкостной комбинированной двухконтурной низкотемпературной системы солнечного отопления
3. Обозначить узлы и детали
4. Рассказать принцип работы
5. Изучить работу жидкостной комбинированной двухконтурной низкотемпературной системы солнечного отопления
6. Перечислить основные элементы жидкостной комбинированной двухконтурной низкотемпературной системы солнечного отопления
7. Рассказать достоинства и недостатки системы

**Лабораторная работа 4. Плоские солнечные коллекторы**

*Теоретическая часть*

В качестве тепловоспринимающей панели можно использовать любой

металлический или пластмассовый лист с каналами для теплоносителя. Изготавливаются тепловоспринимающие панели из алюминия или стали двух типов: лист-труба и штампованные панели (труба в листе). Пластмассовые панели из-за недолговечности и быстрого старения под действием солнечных лучей, а также из-за малой теплопроводности не находят широкого применения. Под действием солнечной радиации тепловоспринимающие панели разогреваются до температур 70-80°C, превышающих температуру окружающей среды, что ведет к возрастанию конвективной теплоотдачи панели в окружающую среду и ее собственного излучения на небосвод. Для достижения более высоких температур теплоносителя поверхность пластины покрывают спектрально-селективными слоями, активно поглощающими коротковолновое излучение солнца и снижающими ее собственное тепловое излучение в длинноволновой части спектра. Такие конструкции на основе «черного никеля», «черного хрома», окиси меди на алюминии, окиси меди на меди и другие дорогостоящи (их стоимость часто соизмерима со стоимостью самой тепловоспринимающей панели).

Плоские солнечные коллекторы (рис. 1.) состоят из стеклянного или пластикового покрытия (одинарного, двойного, тройного), тепловоспринимающей панели, окрашенной со стороны, обращенной к солнцу, в черный цвет, изоляции на обратной стороне и корпуса (металлического, пластикового, стеклянного, деревянного).

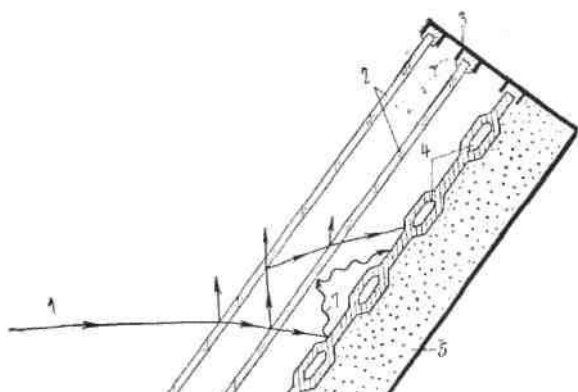


Рис. 1. Плоский солнечный коллектор:

1 – солнечные лучи; 2 – остекление; 3 – корпус; 4 – тепловоспринимающая поверхность;

5 – теплоизоляция;

***Задание:***

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия
2. Нарисовать схему плоского солнечного коллектора
3. Обозначить узлы и детали
4. Рассказать принцип работы
5. Изучить работу плоского солнечного коллектора
6. Перечислить основные элементы плоского солнечного коллектора
7. Рассказать достоинства и недостатки системы

**Лабораторная работа 5** Схема водяной низкотемпературной системы солнечного отопления с солнечными коллекторами

*Теоретическая часть*

Другим способом улучшения характеристик плоских коллекторов яв-



ляется создание вакуума между тепловоспринимающей панелью и прозрачной изоляцией для уменьшения тепловых потерь (солнечные коллекторы четвертого поколения). Устройство теплоизоляции удорожает и утяжеляет конструкцию гелиоприемника.

Опыт эксплуатации солнечных установок на основе солнечных коллекторов выявил ряд существенных недостатков подобных систем. Прежде всего это высокая стоимость коллекторов. Увеличение эффективности их работы за счет селективных покрытий, повышение прозрачности остекления, вакуумирования, а также устройства системы охлаждения оказываются экономически нерентабельными. Существенным недостатком является необходимость частой очистки стекол от пыли, что практически исключает применение коллектора в промышленных районах. При длительной эксплуатации солнечных коллекторов, особенно в зимних условиях, наблюдается частый выход их из строя из-за неравномерности расширения освещенных и затемненных участков стекла за счет нарушения целостности остекления. Отмечается также большой процент выхода из строя коллекторов при транспортировке и монтаже. Значительным недостатком работы систем с коллекторами является также неравномерность загрузки в течение года и суток. Опыт эксплуатации коллекторов в условиях Европы и европейской части России при высокой доле диффузной радиации (до 50%) показал невозможность создания круглогодичной автономной системы горячего водоснабжения и отопления. Все гелиосистемы с солнечными коллекторами в средних широтах требуют устройства больших по объему баков-аккумуляторов и включения в систему дополнительного источника энергии (4.3.3), что снижает экономический эффект от их применения. В связи с этим наиболее целесообразно их использование в районах с высокой средней интенсивностью солнечной радиации (не ниже  $300 \text{ Вт/м}^2$ ).

На рис. 1 представлена принципиальная схема водяной низкотемпературной системы солнечного отопления с солнечными коллекторами, в которой предусмотрен автоматический дренаж коллекторов при прекращении

воздействия солнечной радиации.

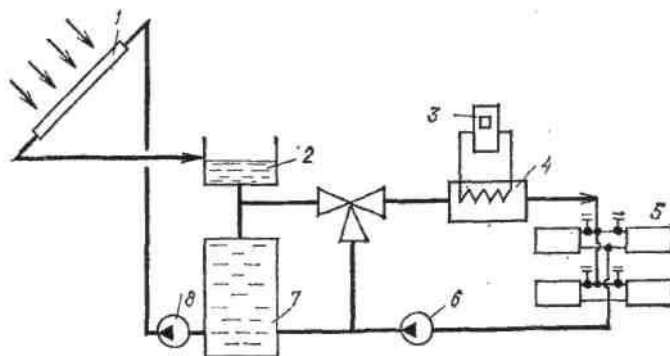
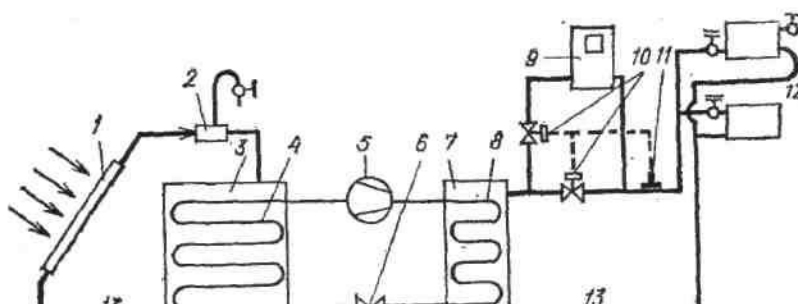


Рис. 1. Схема водяной низкотемпературной системы солнечного отопления с плоскими коллекторами и их автоматическим дренажем при прекращении циркуляции: 1 – солнечные плоские коллекторы; 2 – расширительный бак; 3 – дополнительный теплоисточник; 4 – теплообменник; 5 – отопительные приборы; 6 – циркуляционные насосы; 7 – бак-теплоаккумулятор

### *Задание*

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия
2. Нарисовать схему водяной низкотемпературной системы солнечного отопления с солнечными коллекторами
3. Обозначить узлы и детали
4. Рассказать принцип работы
5. Изучить работу водяной низкотемпературной системы солнечного отопления с солнечными коллекторами
6. Перечислить основные элементы водяной низкотемпературной системы солнечного отопления с солнечными коллекторами
7. Рассказать достоинства и недостатки системы

**Лабораторная работа 6** Жидкостная двухконтурная комбинированная низкотемпературная система солнечного отопления с плоскими коллекторами



Тепловое аккумулирование – это физические или химические процессы, посредством которых происходит накопление тепла в тепловом аккумуляторе энергии (ТАЭ). Аккумулятор состоит из резервуара для хранения (обычно теплоизолированного), аккумулирующей среды (рабочего тела), устройств для зарядки и разрядки и вспомогательного оборудования.

Аккумулирующая система характеризуется способами, которыми энергия для зарядки аккумулятора отбирается от источника, трансформируется (при необходимости) в требуемый вид энергии и отдается потребителю.

Аккумулирование энергии может осуществляться в результате изменения: а) удельной внутренней энергии; б) удельной потенциальной энергии; в) удельной кинетической энергии; г) массы системы. К тепловому аккумулированию энергии обычно относят случай (а), а также случай (б), если удельная внутренняя энергия рабочего тела выше, чем окружающей среды. В соответствии с принятыми выше определениями и выводами можно провести классификацию аккумуляторов тепла:

а) Прямое аккумулирование: аккумулирующей и теплообменной является одна и та же среда. Аккумулирующая среда может быть твердой, жид-

кой, газообразной или двухфазной (жидкость плюс газ).

б) Косвенное аккумулирование: энергия аккумулируется только посредством теплообмена (например, теплопроводностью через стенки резервуара) либо в результате массообмена специальной теплообменной среды (в жидком, двухфазном или газообразном состоянии). Собственно аккумулирующая среда может быть твердой, жидкой или газообразной (процесс может протекать без фазового перехода, с фазовым переходом твердое тело – твердое тело, твердое тело – жидкость или жидкость – пар).

в) Полупрямое аккумулирование: процесс протекает как в случае б), за исключением того, что аккумулирующая емкость теплообменной среды играет более важную роль (например, аккумулирование горячей нефти с твердой насадкой).

г) Сорбционное аккумулирование: в этом случае используется способность некоторых аккумулирующих сред абсорбировать газы с выделением тепла (и поглощением тепла при десорбции газа). Передача энергии может происходить непосредственно в форме тепла или с помощью газа,

### ***Задание***

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия
2. Нарисовать схему жидкостной двухконтурной комбинированной низкотемпературной системы солнечного отопления с плоскими коллекторами
3. Обозначить узлы и детали
4. Рассказать принцип работы
5. Изучить работу жидкостной двухконтурной комбинированной низкотемпературной системы солнечного отопления с плоскими коллекторами
6. Перечислить основные элементы жидкостной двухконтурной комбинированной низкотемпературной системы солнечного отопления с плоскими коллекторами
7. Рассказать достоинства и недостатки системы

**Лабораторная работа 7.** Тепловое аккумулирование для солнечного обогрева и охлаждения помещений

### ***Теоретическая часть***

Типичная схема активной системы с тепловым аккумулированием энергии для получения горячей воды включает первичный контур на антифризе, теплообменник в нижней части аккумулирующего бака и до-

полнительный нагреватель в верхней его части (рис.1). Так как эффективность солнечного коллектора снижается с увеличением разности температур первичного контура и окружающей среды, температуру первичного контура следует поддерживать на возможно более низком уровне. Для этого следует обеспечить небольшой перепад температур в теплообменнике, воспрепятствовать перемешиванию в баке и обеспечить подвод тепла только в самую холодную часть бака.

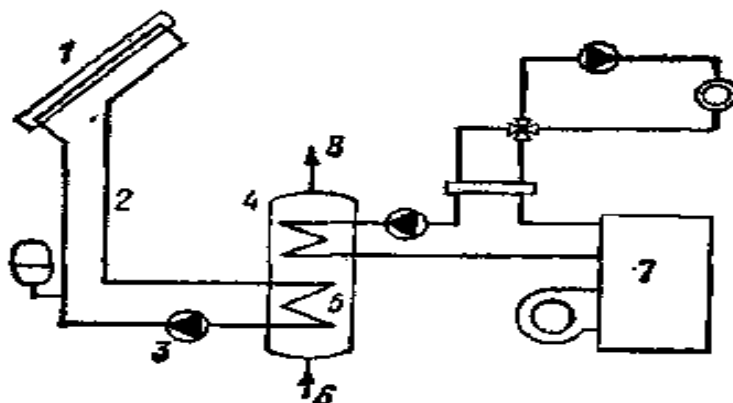


Рис. 1 Схема получения горячей воды для бытовых нужд с использованием солнечной энергии: 1 – солнечные коллекторы; 2 – первичный цикл (антифриз); 3 – циркуляционный насос; 4 – аккумулирующий бак; 5 – солнечный теплообменник; 6 – подача холодной воды; 7 – дополнительный нагреватель; 8 – линия подачи.

Выбор соотношения между размерами солнечного коллектора и аккумулятора для кратковременного (горячая бытовая вода) и долговременного (обогрев) аккумулирования – интересная оптимизационная задача. Общий оптимум получается, когда оптимальны характеристики как коллектора, так и аккумулятора. Удельные емкости аккумуляторов для кратковременного аккумулирования обычно составляют 50–100 кг воды на 1 м<sup>2</sup> площади коллектора, а для долговременного аккумулирования в климатических условиях Центральной Европы необходимы значения удельной емкости 1000 кг/м<sup>2</sup>.

**Солнечный бассейн**, где коллектор и аккумулятор совмещены, является частным случаем аккумулирования с использованием горячего теплоносителя (рис. 2). Солнечная радиация поглощается донной поверхностью бассейна. В теплоносителе создается и поддерживается градиент концентрации соли (концентрация увеличивается с глубиной) между верхним конвек-

тивным слоем (под действием ветра) и нижним конвективным слоем (в результате отвода тепла). Благодаря этому конвекция и связанный с ней теплоотвод к поверхности подавляются, и слой толщиной ~ 1 м, в котором нет конвекции, служит тепловой изоляцией. Таким способом можно достичь температуры воды 100°C, а 90°C является обычным расчетным значением в зонах с жарким климатом.

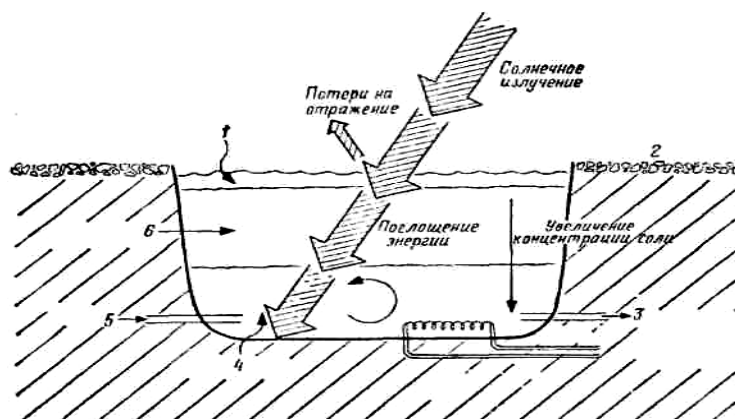


Рис. 2. Схема солнечного бассейна с градиентом концентрации соли: 1 – поверхностный слой воды; 2 – поверхность земли; 3 – выход горячего соляного раствора к потребителю тепла или к теплообменнику; 4 – конвективная (аккумулирующая) область; 5 – возврат холодного соляного раствора; 6 – не-конвективный (изолирующий) слой.

### Задание

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия
2. Нарисовать схему получения горячей воды для бытовых нужд с использованием солнечной энергии
3. Нарисовать схему солнечного бассейна с градиентом концентрации соли
4. Обозначить узлы и детали
5. Рассказать принцип работы
6. Изучить работу установок
7. Перечислить основные элементы установок
8. Рассказать достоинства и недостатки системы

### Лабораторная работа 8 Аккумуляция тепла солнечной энергии на основе использования теплоты фазового перехода

#### Теоретическая часть

Были предложены и разработаны системы для зарядки и разрядки воздухом (рис. 1) или водой (рис. 2). На рис. 3 показан вариант теплообменника с оребренными кольцевыми каналами с отдельными контурами

зарядной и разрядной сред. Таким образом, теплообменник позволяет проводить одновременно зарядку и разрядку. Каждый теплообменный элемент состоит из внутренней и наружной трубок, тепловой контакт между которыми обеспечивается продольными ребрами из материала с хорошей теплопроводностью (например, алюминия). Кольцевое пространство между ребрами заполнено материалом, аккумулирующим энергию фазового перехода (равную теплоте плавления). В этом варианте система теплового аккумулирования работает как гибридный аккумулятор, в котором используются теплота фазового перехода и теплота нагрева рабочего тела. Коллекторы солнечного тепла разделяются на активные и пассивные; роль последних часто выполняют сами конструкционные детали здания.

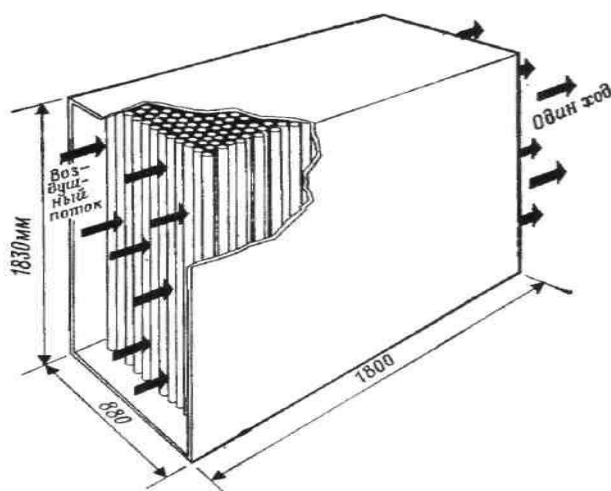
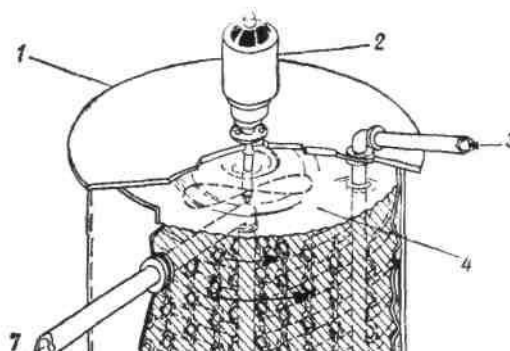


Рис.1. Блок солнечных энергоаккумулирующих стержней с 2400 кг  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ( $T_f=27,2^\circ\text{C}$ ) в полиэтиленовых цилиндрах для отопления квартиры.

Такие детали должны обладать прозрачными внешними поверхностями (в виде окон или прозрачных покрытий) и высокой эффективной теплоемкостью. Правильно выбранные свойства системы ТАЭ способствуют выравниванию температуры в помещении. Если такие свойства солнечной системы ТАЭ, как толщина, теплопроводность и теплоемкость коллектора выбраны правильно, то проходящие через внешнюю поверхность солнечные тепловые потоки могут быть задержаны примерно на 12 ч, что внесет, таким образом, благоприятный вклад в тепловой баланс помещения на режимах как нагрева, так и охлаждения.

Рис. 2. Агрегат CALMAC для аккумулирования теплоты фазового перехода на  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ :

1 – съемная крышка;  
2 – двигатель для перемеши-



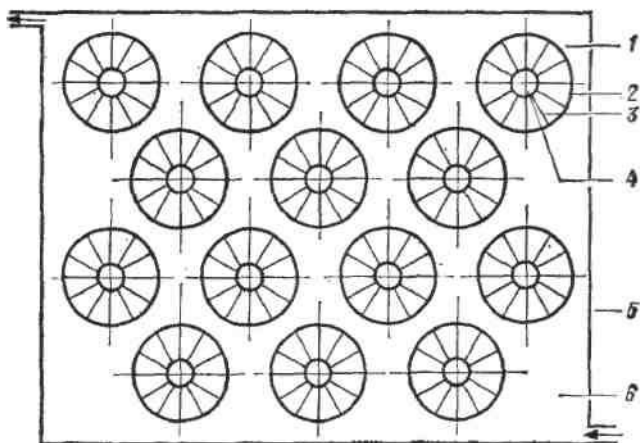


Рис. 3. Теплообменник с оребренными кольцевыми каналами для аккумуляции энергии с использованием теплоты фазового перехода: 1 – элемент теплообменного блока; 2 – термоаккумулирующее вещество; 3 – продольное ребро; 4 – горячий теплоноситель; 5 – резервуар (кожух); 5 – холодный теплоноситель для разрядки.

### **Задание**

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия
2. Нарисовать схемы аккумуляторов теплоты: блока солнечных энергоаккумулирующих стержней, агрегата CALMAC для аккумуляции теплоты фазового перехода, теплообменника с оребренными кольцевыми каналами для аккумуляции энергии с использованием теплоты фазового перехода
3. Обозначить узлы и детали
4. Рассказать принцип работы
5. Изучить работу схемы аккумуляторов теплоты
6. Перечислить основные элементы активной солнечной системы
7. Рассказать достоинства и недостатки системы

### **Лабораторная работа 9** Работа ветрового колеса крыльчатого ветродвигателя

#### *Теоретическая часть*

Крыльчатые ветроколеса работают за счёт косо́го удара при движении лопастей перпендикулярно к направлению скорости ветра в противоположность к прямому удару. На горизонтальном валу закреплены крылья, число которых у современных ветродвигателей бывает от 2 и больше. Крыло ветро-



колеса состоит из маха а и лопасти б, закрепляемой на махе так, что она образует с плоскостью вращения некоторый угол  $\varphi$ . Этот угол называют углом заклинивания лопасти. При этом на её элементы набегает воздушный поток с относительной скоростью  $W$  под углом  $\alpha$ , который называют углом атаки, и действует с силой  $R$ . Углы  $\varphi$  и  $\alpha$  в значительной мере определяют эффективность крыльев. Силу  $R$  раскладывают на силы  $P_x$  и  $P_y$  (рис.2, а). Силы  $P_x$  производят давление в направлении ветра, которое называется лобовым давлением. Силы  $P_y$  действуют в плоскости  $y - y$  вращения ветроколеса и создают крутящий момент.

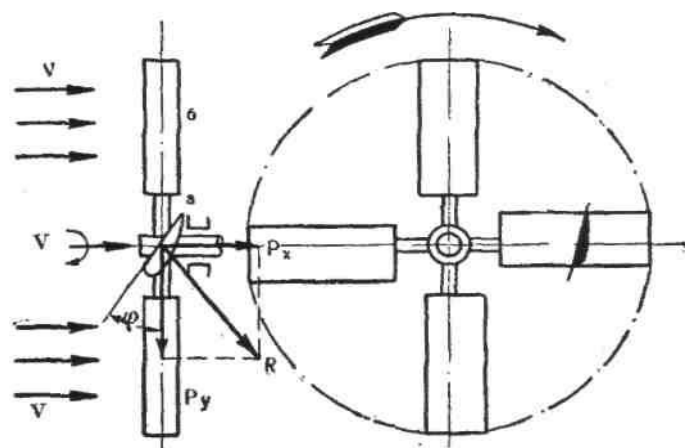


Рис. 1. Конструктивная схема крыльчатого ветроколеса

Максимальные силы, приводящие колесо во вращение, получаются при некотором значении угла атаки  $\alpha$ , т. е. угла наклона относительного потока к поверхности лопасти. Ввиду того что окружная скоростью длине крыла не одинакова, а возрастает по мере удаления его элементов от оси вращения ветроколеса, относительная скорость  $W$  набегания потока на лопасть также возрастает. Вместе с этим убывает угол атаки  $\alpha$ , и при некоторой окружной скорости  $\omega R$ , где  $\omega$  угловая скорость, этот угол станет отрицательным (рис. 2, б). Следовательно, не все элементы крыла будут иметь максимальную

подъёмную силу.

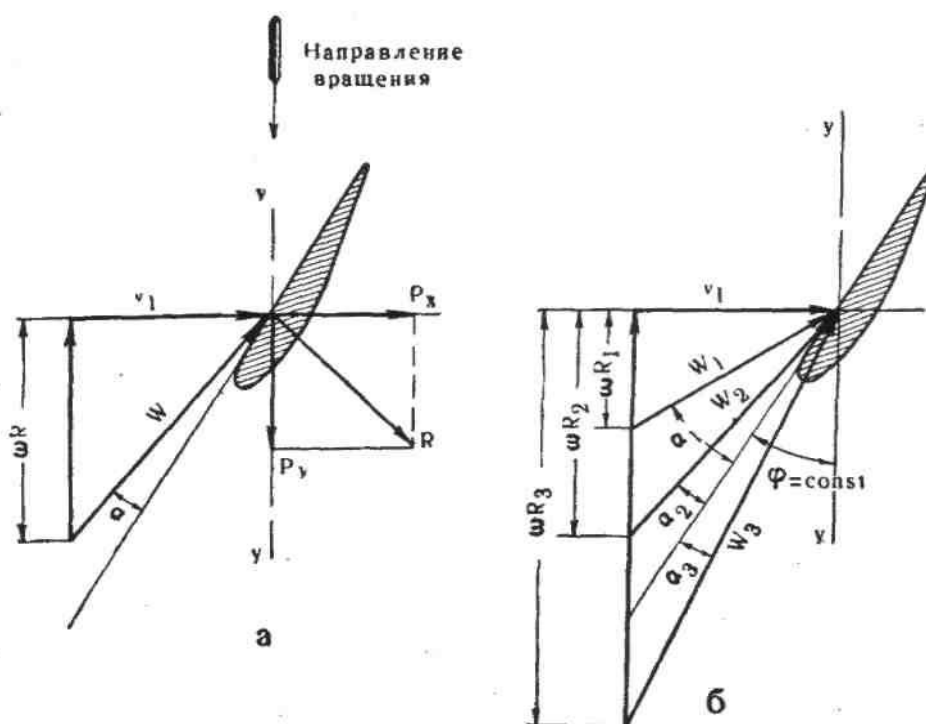


Рис.2. а – схема действия сил воздушного потока на элемент лопасти; б – графическое изображение относительного потока, набегающего на элементы лопасти, расположенные на разных радиусах ветроколеса

Если мы будем уменьшать угол  $\varphi$  каждого элемента лопасти по мере удаления его от оси вращения так, чтобы наивыгоднейший угол атаки  $\alpha$  примерно сохранялся постоянным, то мы получим условие, при котором приблизительно все элементы лопасти будут работать со своей максимальной подъёмной силой. Лопасть с переменным углом заклинения со получает форму винтовой поверхности. Правильные углы заклинения лопасти при хорошем аэродинамическом качестве профиля, а также ширине, соответствующей заданной быстроходности, обеспечивают высокий коэффициент использования энергии ветра. У хорошо выполненных моделей он достигает 46%.

### **Задание**

1.Изучить теоретическую часть лабораторного занятия

2. Нарисовать схему оборудования
3. Обозначить узлы и детали
4. Рассказать принцип работы
5. Изучить работу системы
6. Перечислить основные элементы установки
7. Рассказать достоинства и недостатки установки

**Лабораторная работа 10 .** Использование геотермальной энергии для выработки тепловой и электрической энергии.

Геотермальные станции в вулканических районах базируются на месторождениях пароводяной смеси, добываемой из природных подземных трещинных коллекторов с глубины 0,5-3 км. Пароводяная смесь в среднем имеет степень сухости 0,2-0,5 и энтальпию 1500-2500 кДж/кг. В среднем одна эксплуатационная скважина обеспечивает электрическую мощность 3-5 МВт, средняя стоимость бурения составляет 900 долларов за метр.

**Геотермальная электростанция с непосредственным использованием природного пара.** Самая простая и доступная геотермальная энергоус-

тановка представляет собой паротурбинную установку с противодавлением. Природный пар из скважины подается прямо в турбину с последующим выходом в атмосферу или в устройство, улавливающее ценные химические вещества. В турбину с противодавлением можно подавать вторичный пар или пар, получаемый из сепаратора. По этой схеме электростанция работает без конденсаторов, и отпадает необходимость в компрессоре для удаления из конденсаторов неконденсирующихся газов. Эта установка наиболее простая, капитальные и эксплуатационные затраты на нее минимальны. Она занимает небольшую площадь, почти не требует вспомогательного оборудования и ее легко приспособить как переносную геотермальную электростанцию (рис. 10.1.1).

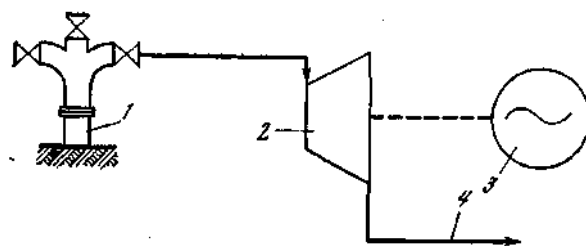


Рис. 1. Схема геотермальной электростанции с непосредственным использованием природного пара: 1 – скважина; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – выход в атмосферу или на химический завод.

Рис.10.1.1. Схема геотермальной электростанции с непосредственным использованием природного пара: 1 – скважина; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – выход в атмосферу или на химический завод.

Турбогенераторные установки с противодавлением не препятствуют промышленному использованию химических веществ, содержащихся в природном теплоносителе. Так, например, в природном паре некоторых месторождений Италии содержится 150-700 мг/кг борной кислоты, и при помощи подобных установок можно добывать этот ценный продукт одновременно с выработкой электроэнергии.

Рассмотренная схема может стать самой выгодной для тех районов, где имеются достаточные запасы природного пара. Рациональная эксплуатация обеспечивает возможность эффективной работы такой установки даже при переменном дебите скважин.

В Италии работает несколько таких станций. Одна из них – мощностью 4 тыс. кВт при удельном расходе пара около 20 кг/сек, или 80 т пара в час; другая – мощностью 16 тыс. кВт, где установлено четыре турбогенератора мощностью по 4 тыс. кВт. Последняя снабжается паром от 7-8 скважин.

В подобных схемах требуется значительное количество пара, который с большим успехом может быть использован в турбинах конденсационного типа.

**Геотермальная электростанция с конденсационной турбиной и прямым использованием природного пара** – это наиболее современная схема для получения электрической энергии.

Пар из скважины подается в турбину. Отработанный в турбине, он попадает в смешивающий конденсатор. Смесь охлаждающей воды и конденсата уже отработанного в турбине пара выпускается из конденсатора в подземный бак, откуда забирается циркуляционными насосами и направляется для охлаждения в градирню. Из градирни охлаждающая вода опять попадает в конденсатор (рис. 10.1.2).

По такой схеме работает геотермальная электростанция Лардерелло-3, использующая природный пар, самая крупная в Италии. Она была спроектирована в начале второй мировой войны, но вступила в строй только в послевоенные годы. На электростанции установлено четыре турбогенератора мощностью по 26 тыс. кВт и два турбогенератора по 9 тыс. кВт. Последние предназначены для покрытия собственных нагрузок.

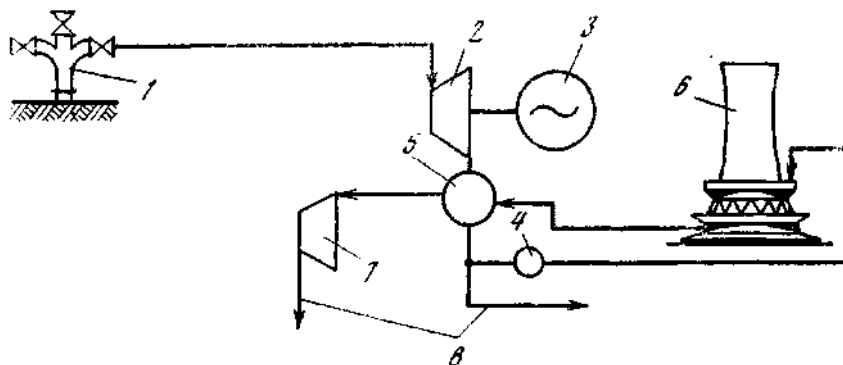


Рис. 2. Схема геотермальной электростанции с конденсационной турбиной и прямым использованием природного пара: 1 – скважина; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – насос; 5 – конденсатор; 6 – градирня; 7 – компрессор; 8 – сброс.

Рис. 10.1.2. Схема геотермальной электростанции с конденсационной турбиной и прямым использованием природного пара: 1 – скважина; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – насос; 5 – конденсатор; 6 – градирня; 7 – компрессор; 8 – сброс.

Ни один из установленных здесь турбогенераторов в течение многих лет не переводился в резерв. Коэффициент использования установленной мощности составляет 98%. Стабильная работа геотермальной электростанции Лардерелло-3 открыла путь к конструированию новых электростанций с использованием конденсационных турбин. По такой схеме с некоторыми изменениями работают многие геотермальные электростанции: Лардерелло-2 (Италия), Вайракей (Новая Зеландия) и др.

Благодаря техническим усовершенствованиям потребление пара на каждый киловатт мощности стало значительно меньше. Сейчас расход пара на новой электростанции Лаго (Италия) составляет уже 8 кг/кВт-ч.

## 10.2. Геотермальные электростанции с бинарным циклом

Геотермальная электростанция с паропреобразователем. Конденсационная турбина с паропреобразователем работает на вторичном паре. Эти станции наиболее выгодны там, где природный пар имеет высокую температуру и большое содержание газов. Схема электростанции следующая: при-

родный пар из скважины поступает в паропреобразователь и свое тепло отдает вторичному теплоносителю, после чего чистый вторичный пар направляется в конденсационную турбину. Отработанный пар идет в конденсатор. Неконденсирующиеся газы, содержащиеся в паре, отделяются в паропреобразователе и выбрасываются либо в атмосферу, либо идут на химические заводы. Недостатком этой схемы является снижение параметров пара перед турбиной. По сравнению с электростанциями, непосредственно использующими природный пар, удельный расход пара здесь меньше на 30%. Геотермальная электростанция, работающая по этой схеме (рис. 10.2.1), позволяет полностью использовать все химические вещества, содержащиеся в природном паре.

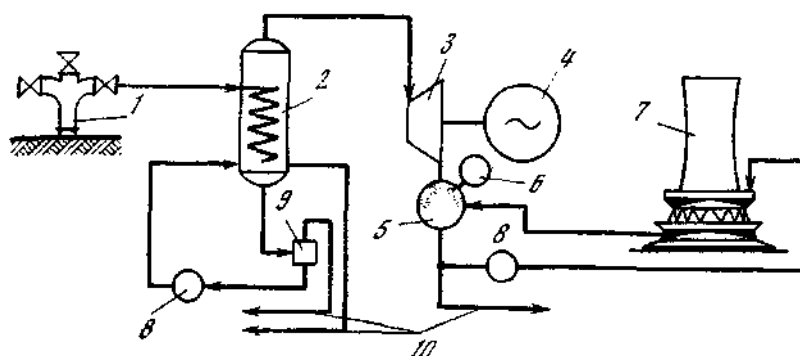


Рис. 3. Схема геотермальной электростанции с паропреобразователем: 1 – скважина; 2 – паропреобразователь; 3 – турбина; 4 – генератор; 5 – конденсатор; 6 – вакуумный насос; 7 – градирня; 8 – насос; 9 – дегазатор; 10 – сброс.

Опыт подтверждает, что стоимость строительства геотермальной электростанции с паропреобразователем немного больше стоимости электростанции с прямым использованием пара в конденсационной турбине. По схеме с паропреобразователем были построены электростанции Лардерелло-2 и Кастельнуово (Италия). На станции Лардерелло-2 установлено 7 турбин мощностью по 11 тыс. квт. Удельный расход пара на этой электростанции — 14 кг/квт.

Геотермальные электростанции с конденсационной турбиной, работающие на отсепарированном паре, строятся там, где из скважины получают пар с большим содержанием воды. Пар или пароводяная смесь из скважины направляется в специальное устройство, расположенное на скважине. Под

давлением в сепараторе происходит разделение пароводяной смеси на пар и воду. Отсепарированный пар по трубопроводу направляется в турбину и т. д. Конденсационные турбины, работающие на отсепарированном паре, нашли применение в строительстве геотермальных электростанций в России (Паужетское месторождение на Камчатке), Исландии (месторождение Хвергерди) и в других странах.

Рассмотренная схема имеет свои преимущества. Полученный в сепараторе пар практически не содержит газов, что облегчает работу турбин.

### 10.3. Схема Паужетской ГеоТЭС

В настоящее время проведены геологические, геофизические, гидро-геологические и другие исследования тепло-аномальных районов Камчатки; обнаружены большие ресурсы термальных вод с высокой температурой.

Для получения электрической энергии за счет глубинного тепла Земли и строительства опытно-промышленной геотермальной станции гидрогеологи-разведчики сочли наилучшим районом долину реки Паужетки, расположенную на юге Камчатки, в 35 км от побережья Охотского моря.

В 1957 г. началось бурение разведочных скважин. При бурении на термальные воды, особенно в зоне вулканических проявлений, применяли глинистый \_\_\_\_\_раствор и, непрерывно промывая, охлаждали ствол скважины, что предотвратило пароводяные выбросы. Всего была пробурена 21 скважина глубиной от 220 до 480 м. Каждая в среднем давала около 10 кг/сек пароводяной смеси с теплосодержанием 170 ккал/кг. Одна из них с глубины 250 м вскрыла температуру 195 °С, другая с глубины 375 м – 200° С.

По химическому составу Паужетские гидротермы принадлежат к типу хлоридных натриевых вод. Общая минерализация их составляет 1,0-3,4 г/л, температура на выходе из скважин – 144-200 °С, давление на устье скважины – 2-4 атм, рН от 8,0 до 8,2. Термальные воды содержат повышенные количества кремнекислоты (250 мг/л) и борной кислоты (150 мг/л). Пар насыщен также газами: углекислым – 500 мг/кг, сероводородом – 25 мг/кг, аммиаком – до 15 мг/кг и др.

По предварительным данным, Паужетское геотермальное месторождение даст возможность получать 30-50 тыс. кВт электрической мощности.

Схема опытно-промышленной станции, предложенная институтом Теплоэлектропроект, представлена на рис 11.3.1.

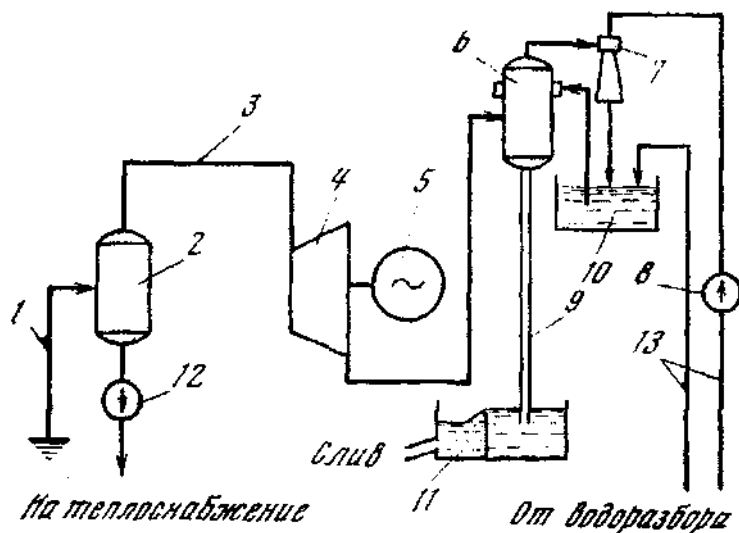


Рис. 4. Схема Паужетской опытно-промышленной геотермальной электростанции: 1 – скважина; 2 – сепаратор; 3 – паропровод; 4 – турбина; 5 –

Пароводяная смесь из скважины поступает в сепаратор (емкостью 10 м<sup>3</sup>, с нагрузкой парового объема 600-800 м<sup>3</sup>/час), расположенный на скважине. Здесь при давлении 1,5 атм происходит разделение пара и воды. Отсепарированный пар по паропроводу поступает к турбинам. Горячая вода с температурой 100-110 °С сбрасывается в реку, и только небольшая часть ее идет по трубам для отопления и горячего водоснабжения жилых зданий поселка и

### ***Задание***

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия по материалам лекции
2. Изучить работу систем
3. Обозначить узлы и детали
4. Рассказать принцип работы
5. Перечислить основные элементы установки
6. Рассказать достоинства и недостатки установок





## Теоретическая часть

Преобразователи, отслеживающие профиль волны -колеблющееся крыло.

Форма преобразователя обеспечивает максимальное извлечение мощности

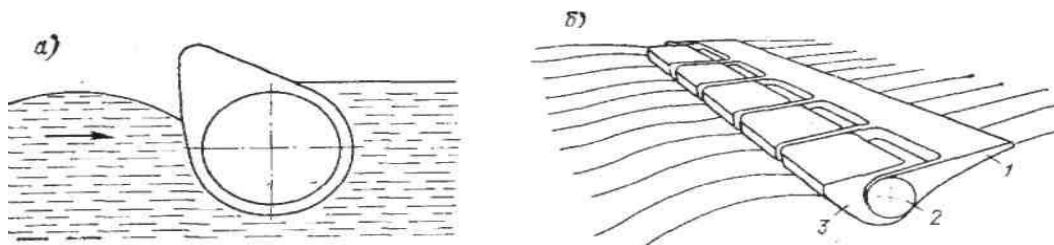


Рис. 1. «Утка Солтера»: а – схема преобразования энергии волны; б – вариант конструкции преобразователя; 1 – плавучая платформа; 2 – цилиндрическая опора с размещенными в ней приводами и электрогенераторами; 3 – асимметричный поплавок.

Волны, поступающие слева, заставляют утку колебаться. Цилиндрическая форма противоположной поверхности обеспечивает отсутствие распространения волны направо при колебаниях утки вокруг оси. Мощность может быть снята с оси колебательной системы с таким расчетом, чтобы обеспечить минимум отражения энергии. Отражая и пропуская лишь незначительную часть энергии волн (примерно 5%), это устройство обладает весьма высокой эффективностью преобразования в широком диапазоне частот возбуждающих колебаний. Первоначально Солтером был создан макет достаточно узкополосного по частоте устройства. В волновом бассейне оно поглощало до 90 % падающей энергии. Первые испытания в условиях, близких к морским, были проведены в мае 1977 г. на оз. Лох-Несс. 50-метровая гирлянда из 20-«уток» общей массой 16 т была спущена на воду и испытывалась в течение 4 месяцев при различных волновых условиях. В декабре того же года эта модель в 1/10 будущей величины океанского преобразователя была вновь спущена на воду и дала первый ток. В течение 3 мес одного из самых суровых зимних периодов модель первой английской волновой электростанции работала с КПД около 50 %.

Дальнейшие разработки Солтера направлены на то, чтобы обеспечить утке способность противостоять ударам максимальных волн и создать заяко-

ренную гирлянду преобразователей в виде достаточно гибкой линии. Предполагается, что характерный размер реальной утки будет равен примерно  $0,1 \lambda$ , что для 100-метровых атлантических волн соответствует 10 м.

Нить

из уток протяженностью несколько километров предполагается установить в районе с наиболее интенсивным волнением западнее Гебридских островов.

Мощность всей станции будет примерно 100 МВт.

Наиболее серьезными недостатками для «уток Солтера» оказались следующие:

- необходимость передачи медленного колебательного движения на привод генератора;
- необходимость снятия мощности с плавающего на значительной глубине устройства большой протяженности;
- вследствие высокой чувствительности системы к направлению волн необходимость отслеживать изменение их направления для получения высокого КПД преобразования;
- затруднения при сборке и монтаже из-за сложности формы поверхности «утки».

Другой вариант волнового преобразователя с качающимся элементом – контурный плот Коккерелла. Контурный плот – многозвенная система из шарнирно соединенных секций (рис. 2). Как и «утка», он устанавливается перпендикулярно к фронту волны и отслеживает ее профиль.

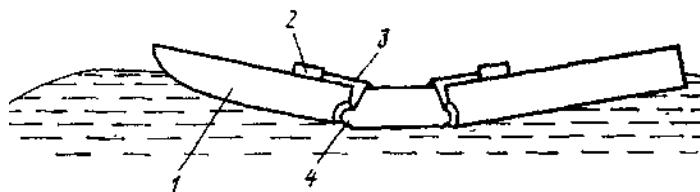


Рис. 2. Вариант выполнения контурного плота Коккерелла: 1 – колеблющаяся секция; 2 – преобразователь; 3 – тяга; 4 – шарнир.

Детальные лабораторные испытания модели плота в масштабе 1/100 показали, что его эффективность составляет около 45 %. Детальные лабораторные

испытания модели плота в масштабе 1/100 показали, что его эффективность составляет около 45 %. Это ниже, чем у «утки» Солтера (но плот привлекает другим достоинством: близость конструкции к традиционным судостроительным). Изготовление таких плотов не потребует создания новых промышленных предприятий и позволит поднять занятость в судостроительной промышленности.

### Преобразователи, использующие энергию колеблющегося водяного столба

При набегании волны на частично погруженную полость, открытую под водой, столб жидкости в полости колеблется, вызывая изменения давления в газе над жидкостью. Полость может быть связана с атмосферой через турбину. Поток может регулироваться так, чтобы проходить через турбину в одном направлении, или может быть использована турбина Уэлса.

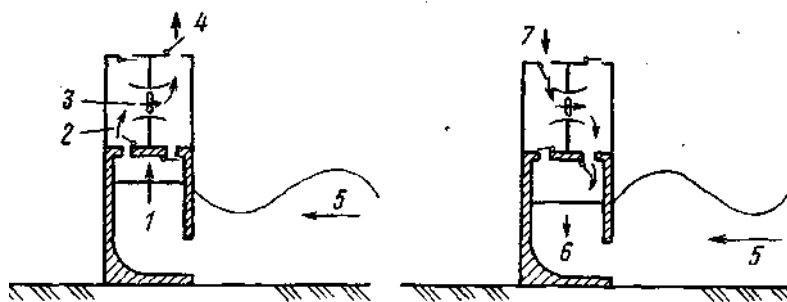


Рис. 3. Схема установки, в которой используется принцип колеблющегося водяного столба (разработана Национальной инженерной лабораторией NEL, Великобритания, размещается непосредственно на грунте, турбина приводится в действие потоком одного направления): 1 – волновой подъем уровня; 2 – воздушный поток; 3 – турбина; 4 – выпуск воздуха; 5 – направление волны; 6 – опускание уровня; 7 – впуск воздуха

Главное преимущество устройств на принципе водяного колеблющегося столба состоит в том, что скорость воздуха перед турбиной может быть значительно увеличена за счет уменьшения проходного сечения канала. Это позволяет сочетать медленное волновое движение с высокочастотным вращением турбины. Кроме того, здесь создается возможность удалить генерирующее устройство из зоны непосредственного воздействия соленой морской воды.

## *Задание*

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия
2. Изучить работу систем
3. Обозначить узлы и детали
4. Рассказать принцип работы
5. Перечислить основные элементы установки
6. Рассказать достоинства и недостатки установок

## **Лабораторная работа 12 Производство биомассы для энергетических целей**

### *Теоретическая часть*

Термин энергетическая ферма используется в очень широком смысле, обозначая производство энергии в качестве основного или дополнительного продукта сельскохозяйственного производства, лесоводства, аква-культуры, а кроме того, те виды промышленной и бытовой деятельности, в результате которых образуются органические отходы. Основной целью переработки сырья могло бы быть исключительно производство энергии, но более выгодно найти наилучшее соотношение между получением из различных видов биомассы энергии и биотоплива. Наиболее характерный пример энергетических ферм представляют собой предприятия по выращиванию и комплексной переработке сахарного тростника. Производство зависит от сжигания отходов переработки тростника, необходимого для снабжения энергией всей технологической цепи. При надлежащей механизации можно было бы получить дополнительную энергию для производства на продажу побочных продуктов (патоки, химикатов, корма для животных, этилового спирта, строительных материалов, электроэнергии). Следует отметить, что этиловый спирт и электроэнергию можно использовать для выращивания культур и выполнения транспортных операций.

Развитие энергетики за счет использования сельскохозяйственных культур имеет как достоинства, так и недостатки. Один из наиболее существенных недостатков то, что производство энергии станет конкурировать с производством пищи. Крупномасштабное увеличение объема производства биотоплива (например, этилового спирта) по этой причине может оказать существенное отрицательное влияние на мировой рынок пищевых продуктов. Второй серьезный недостаток – возможность обеднения и эрозии почв в результате интенсификации выращивания «энергетических» культур. Очевидная стратегия спасения от этих явлений – выращивание культур, пригодных и для обеспечения человека (зерно), и для энергетических нужд при одновременном сокращении части урожая, скармливаемого животным.

#### Пиролиз (сухая перегонка)

Под пиролизом подразумеваются любые процессы, при которых органическое сырье подвергают нагреву или частичному сжиганию для получения производных топлив или химических соединений. Изначальным сырьем могут служить древесина, отходы биомассы, городской мусор и конечно уголь. Продуктами пиролиза являются газы, жидкий конденсат в виде смол и масел, твердые остатки в виде древесного угля и золы.

**5. Газификация** – это пиролиз, приспособленный для максимального получения производного газообразного топлива. Устройства для частичного сжигания биомассы, проектируемые в расчете на получение максимального выхода газов, называются **газогенераторами**. КПД пиролиза определяется как отношение теплоты сгорания производного топлива к теплоте сгорания используемой в процессе биомассы. Достижимый КПД весьма высок: 80-90%.

Чтобы процесс пиролиза шел успешно, должны соблюдаться определенные условия. Подаваемый материал предварительно сортируют для снижения негорючих примесей, подсушивают и измельчают. Критическим параметром, влияющим на температуру и на соотношение видов получаемых продуктов, является соотношение воздух – горючее. Проще всего управлять блоком, работающим при температуре ниже 600° С.

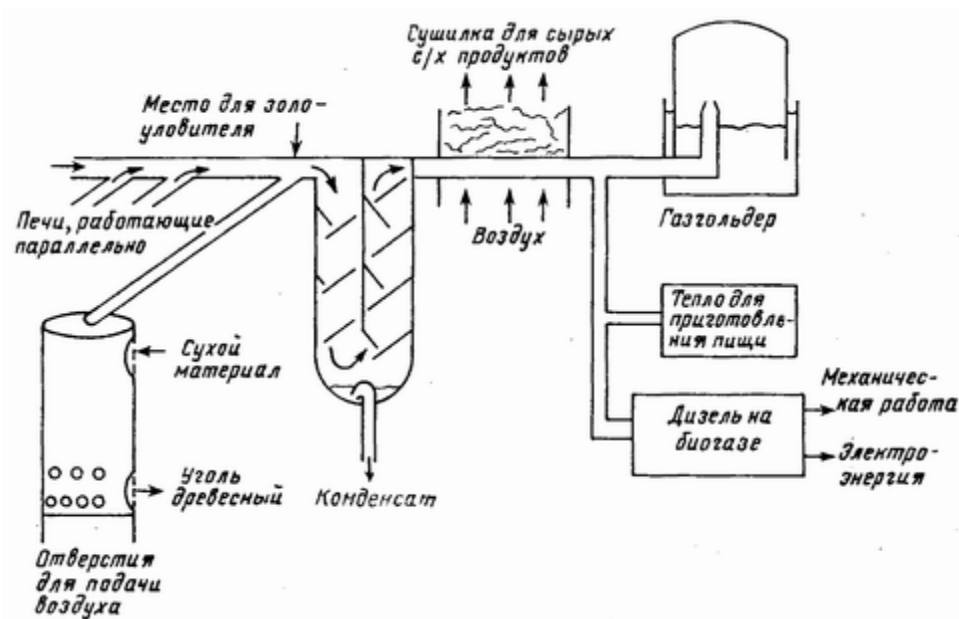


Рис. 1. Установка для осуществления пиролиза

Стадии перегонки:

1. 100-120 °С – подаваемый в газогенератор материал, опускаясь вниз, освобождается от влаги;
2. 275 °С – отходящие газы состоят в основном из  $N_2$ ,  $CO$  и  $CO_2$ ; извлекаются уксусная кислота и метанол;
3. 280-350 °С – начинаются экзотермические реакции, в процессе которых выделяется сложная смесь летучих химических веществ (кетоны, альдегиды, фенолы, эфиры);
4. свыше 350 °С – выделяются все типы летучих соединений; одновременно с образованием  $CO$  происходит увеличение образования  $H_2$ , часть углерода сохраняется в форме древесного угля, смешанного с зольными остатками.

Разновидности топлива, получаемого в результате пиролиза, обладают меньшей по сравнению с исходной биомассой суммарной энергией сгорания, но отличаются большей универсальностью применения.

**Задание**

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия
2. Изучить работу систем
3. Обозначить узлы и детали
4. Рассказать принцип работы
5. Перечислить основные элементы установки
6. Рассказать достоинства и недостатки установок

### **Лабораторная работа 13 Термохимические процессы биоэнергетики**

#### *Теоретическая часть*

**1.** Биомасса может сжигаться или подвергаться пиролизу непосредственно после предварительной сортировки и измельчения. Однако, она может быть еще и обработана химически для того, чтобы получить исходный материал для спиртовой ферментации или вторичное топливо. Рассмотрим несколько наиболее важных примеров из большого числа возможных.

Гидрогенизация. Измельченную, разложившуюся или переваренную биомассу, например навоз, нагревают в атмосфере водорода до температуры около 600 °С при давлении около 5 МПа. Получаемые при этом горючие газы, преимущественно метан и этан, при сжигании дают около 6 МДж на 1 кг сухого сырья.

**2.** Гидрогенизация с применением  $CO$  и пара. Ведется аналогично предыдущему процессу, но нагревание производится в атмосфере  $CO$  и водяного пара при температуре 400 °С и давлении 5 МПа. Из продуктов реакции извлекается синтетическая нефть, которую можно использовать как топливо. Соответствующие реакции идут в присутствии катализатора:

Последняя реакция описывает превращение углеводов в нефтеподобные углеводороды. Эффективность преобразования энергии в этом процессе составляет примерно 65%.



**3.** Гидролиз под воздействием кислот и ферментов. Целлюлоза, составляющая основную массу сухого остатка растений (от 30 до 50%), трудно поддается гидролизу и сбраживанию с помощью микроорганизмов. Превращение целлюлозы в сахара, которые могут сбраживаться, возможно путем нагревания в серной кислоте или под воздействием фермента целлюлозы некоторых микроорганизмов. Полученные продукты можно использовать в качестве пищи для крупного рогатого скота.

**4.** Преобразование масла кокосовых орехов в эфиры. Белая мякоть кокосовых орехов (копра) примерно на 50% состоит из масла. Кокосовое масло может быть непосредственно использовано в качестве дизельного топлива в двигателях, оснащенных специальной системой подачи, однако при этом образуется ядовитый дым, кроме того, при температуре ниже + 23 °С масло затвердевает. Добавив в масло 20% (по объему) метилового или этилового спирта, можно получить летучие эфиры, являющиеся прекрасным дизельным топливом, и глицерол. Получаемые эфиры имеют теплоту сгорания около 38 МДж/кг, что выше, чем у перерабатываемого масла, и приближается к соответствующему показателю бензина (46 МДж/кг). Другие растительные масла также могут быть переработаны аналогичным образом.

**5.** Метиловый спирт в качестве топлива. Метиловый спирт (метанол) – ядовитая жидкость, получаемая в процессе каталитической реакции между  $H_2$  и  $CO$  при температуре 330 °С и давлении 15 МПа:  
 $2H_2 + CO = CH_3OH$  Эти газы – компоненты синтетического газа, они могут получаться при газификации биомассы. Метанол можно использовать в качестве заменителя бензина с теплотой сгорания 23 МДж/кг.

**6.** Спиртовая ферментация (брожение)- этиловый спирт  $C_2H_5OH$  в естественных условиях образуется из сахаров соответствующими микроорганизмами в кислой среде,  $pH$  –от 4 до 5. Подобный процесс спиртовой ферментации во всем мире используют для получения питьевого спирта. Наиболее часто используемые микроорганизмы – дрожжи вида

*Saccharomyces cerevisiae* – погибают при концентрации спирта выше 10%, поэтому для повышения концентрации используют перегонку или фракционирование. После перегонки (дистилляции) получается кипящая при постоянной температуре смесь: 95% этанола и 5% воды. Обезвоженный этанол в промышленных условиях производится путем совместной перегонки с растворителем типа бензола. При брожении теряется лишь 0,5% энергетического потенциала сахаров, остальные затраты энергии связаны с перегонкой. Необходимую тепловую энергию можно получить, сжигая остающиеся отходы биомассы.

Ниже перечислены процессы производства этанола из различных культур в порядке возрастания трудностей переработки.

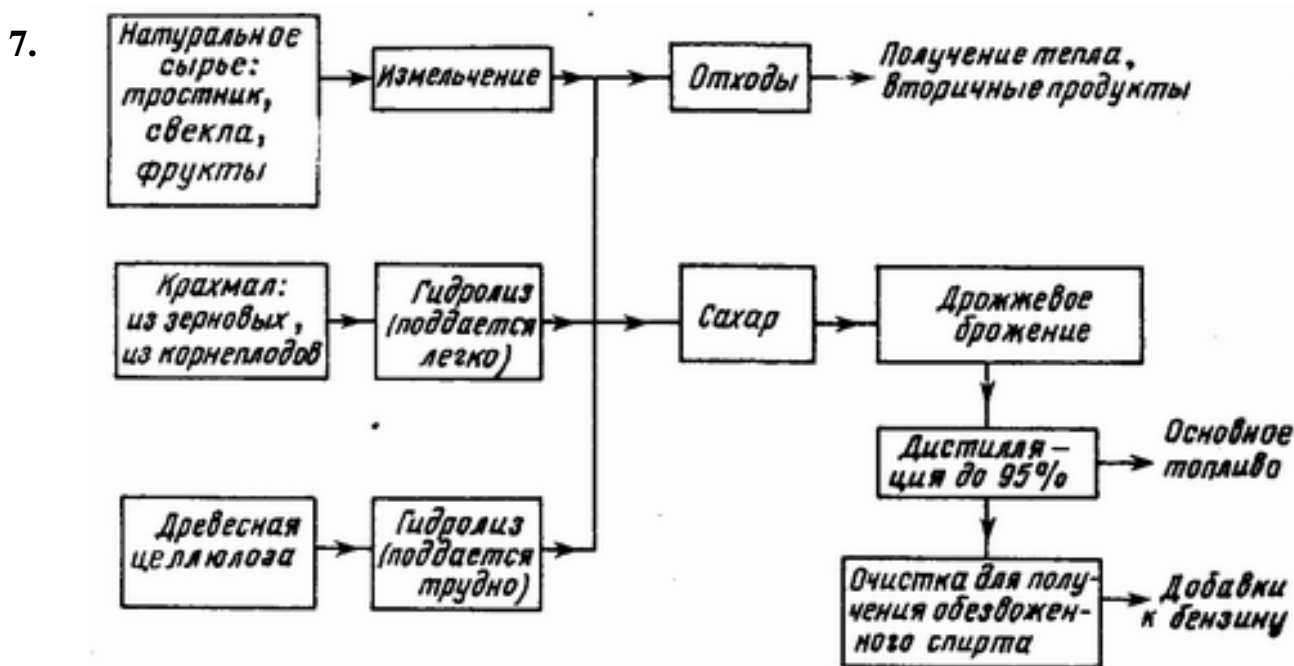


Рис. 1. Производство этанола

1. Непосредственно из сахарного тростника. Обычно промышленную сахарозу получают из сока сахарного тростника, а остающуюся патоку используют для получения спирта
2. Из сахарной свеклы вначале получают сахар для сбраживания, но свекла не дает достаточного количества отходов для получения тепла. Из-за этого этанол дорожает.
3. Из растительного крахмала, например, из злаковых или маниока;

крахмал можно также подвергнуть гидролизу на сахар. Это основной энерго-аккумулирующий углевод растений.

4. Из целлюлозы, которая содержит до 40% всей сухой биомассы и потенциально является обширным возобновляемым источником энергии. Имеет полимерную структуру связей молекул глюкозы. Соответствующие связи молекул глюкозы в целлюлозе значительно труднее поддаются гидролизу, чем у крахмала. Использование различных видов отходов биомассы для выработки электроэнергии и обеспечения производства теплом – основа рентабельности получения этанола. В табл. 1 приведены данные по производству этанола из некоторых технических культур.

8

Таблица 1.

Выход этанола из некоторых технических культур

Культура	Выход этанола из 1 т культуры, л/т
Сахарный тростник	70
Маниок	180
Сладкое сорго	86
Сладкий картофель	125
Зерновые (кукуруза)	370
Плодовые	160

**9 Использование этанола в качестве топлива. Обезвоженный этанол** – жидкость в интервале температур от  $-117$  до  $+78$  °С с температурой воспламенения  $423$  °С. Применение его в двигателе внутреннего сгорания требует специального карбюратора. Поэтому и смешивают бензин с обезвоженным этанолом (20 % по объему) и используют эту смесь (газохол) в обычных бензиновых двигателях. **Газохол** в настоящее время – обычное топливо в Бразилии (этанол там получают из сахарного тростника и маниока), используют его и в США (этанол из кукурузы). Важная особенность этанола – способность выдерживать ударные нагрузки без взрыва, из-за этого он гораздо предпочтительнее добавок из тетраэтилсвинца, вызывающего серьезные загрязнения атмосферы. Превосходные свойства этанола как горючего обеспечивают дви-

двигателям 20%-ное увеличение мощности по сравнению с чистым бензином. Массовая плотность и теплотворная способность этанола ниже, чем бензина, соответственно теплота сгорания ( $24\text{МДж/м}^3$ ) на 40% ниже чем бензина ( $39\text{МДж/м}^3$ ). Однако лучшее горение этанола компенсирует это уменьшение теплотворной способности. Опыт подтверждает, что двигатели потребляют примерно одинаковое количество газохода и бензина.

### ***Задание***

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия
2. Изучить производства этанола
3. Ответить на вопросы теоретического материала