

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Саратовский национально-исследовательский государственный  
университет имени Н.Г. Чернышевского»

**Ромаденкина С.Б., Аниськова Т.В., Кузьмина Р.И.**

## **АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

Учебное пособие  
для студентов, обучающихся по направлению  
18.03.01 – Химическая технология (бакалавр) и  
18.04.01 – Химическая технология (магистр)

Саратов 2016

УДК 541.1: 621.1

ББК 88: 31.31

Р 67

**Ромаденкина С.Б., Решетов В.А., Кузьмина Р.И.**

Альтернативная энергетика: Учеб.пособие / Ромаденкина С.Б., Аниськова Т.В., Кузьмина Р.И., 2016. – 50с.:ил.

ISBN

В пособии рассмотрены теоретические вопросы по альтернативным источникам энергии: биотопливо, солнечная, ветровая, гидротермальная.

Пособие содержит практические работы: дегидратация спиртов и получение синтез-газа и задачи по темам.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению 18.03.01 и 18.04.01 – Химическая технология (магистр, бакалавр) и аспирантов – будущих специалистов в области энергетики.

Рекомендуют к печати:

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

УДК 541.1: 621.1

ББК 88: 31.31

ISBN

© Ромаденкина С.Б., Аниськова Т.В., Кузьмина Р.И. 2014

© ФГБОУ ВО «Саратовский национально-исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», 2014.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

		стр.
	<b>Введение</b>	4
<b>Раздел 1</b>	<b>Возобновляемые источники энергии</b>	5
1.1.	<i>Солнечная энергия</i>	5
1.2.	<i>Ветровая энергетика</i>	11
1.3.	<i>Изотоп гелий-3</i>	18
1.4.	<i>Биотопливо</i>	21
1.5.	<i>Энергия биомассы океана</i>	29
1.6.	<i>Гидроэнергетические ресурсы</i>	30
1.7.	<i>Энергия приливов</i>	31
1.8.	<i>Энергия океанических течений</i>	32
1.9.	<i>Термальная энергия океана</i>	34
1.10.	<i>Способы получения синтез-газа</i>	35
<b>Раздел 2</b>	<b>Практические работы</b>	
2.1.	<i>Практическая работа № 1. Дегидратация спирта</i>	39
2.2.	<i>Практическая работа № 2. Получение синтез-газа из углеводородных смесей</i>	45
<b>3.</b>	<b>Темы рефератов</b>	47
	<b>Список литературы</b>	

## ВВЕДЕНИЕ

Цель учебного пособия заключается в отработке у студентов практических навыков проведения основных процессов нефтепереработки (дегидратация спиртов, получение синтез-газа) на лабораторных установках, а также в помощи сбора информации и анализе научно-технической литературы. Лабораторные занятия предназначены для более глубокого усвоения лекционного курса, а также для развития навыков самостоятельного научного исследования. При этом студенты овладевают методикой измерений и навыками обработки экспериментальных данных.

Под энергоресурсами понимаются материальные объекты, в которых сосредоточена возможная для использования энергия. Энергия – количественная оценка различных форм движения материи, которые могут превращаться друг в друга, условно подразделяется по видам: химическая, механическая, электрическая, ядерная и т.д.

Энергоресурсы разделяют на возобновляемые и невозобновляемые. К первым относятся те, которые природа непрерывно восстанавливает (вода ветер и т.д.), а ко вторым – ранее накопленные в природе, но в новых геологических условиях практически не образующиеся (каменный уголь, нефть, газ, горючие сланцы и др.).

Энергия, непосредственно извлекаемая в природе (энергия топлива, воды, ветра, тепла Земли, ядерная), называется первичной.

Энергия, получаемая человеком после преобразования первичной энергии на специальных установках – станциях, называется вторичной (энергия электрическая, пара, горячей воды и т.д.).

# РАЗДЕЛ 1. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

## 1.1. Солнечная энергия

Солнечная энергетика – использование солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. Солнечная энергетика использует возобновляемый источник энергии и в перспективе может стать экологически чистой, то есть не производящей вредных отходов (в случае фотоэлемента).

Солнце обладает огромными запасами энергии. Рассеиваемая в течение года энергия Солнца оценивается в  $3,48 \cdot 10^{30}$  кВт·ч. На поверхности Земли в течение года приходит  $7,5 \cdot 10^{17}$  кВт·ч энергии.

Поток солнечного излучения, проходящий через площадку в  $1 \text{ м}^2$ , расположенную перпендикулярно потоку излучения на расстоянии одной астрономической единицы от центра Солнца (то есть вне атмосферы Земли), равен  $1367 \text{ Вт/м}^2$  (солнечная постоянная). Из-за поглощения атмосферой Земли, максимальный поток солнечного излучения на уровне моря –  $1020 \text{ Вт/м}^2$ . Однако следует учесть, что среднесуточное значение потока солнечного излучения через единичную площадку как минимум в три раза меньше (из-за смены дня и ночи и изменения угла солнца над горизонтом).

### *Способы получения электричества и тепла из солнечного излучения*

Фотоэлемент – электронный прибор, который преобразует энергию фотонов в электрическую энергию.

Наиболее эффективными с энергетической точки зрения устройствами для превращения солнечной энергии в электрическую являются полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), поскольку это прямой, одноступенчатый переход энергии.

Преобразование энергии в ФЭП основано на фотовольтаическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения.

Явление фотоэлектричества впервые наблюдал Эдмон Беккерель в 1839г. Проводя серию экспериментов по электричеству, он погрузил 2 металлических электрода в проводящий раствор и подвергал установку воздействию солнечного света. Между электродами возникло небольшое напряжение.

### *Типы фотоэлектрических элементов ФЭП*

В настоящее время принято различать три поколения ФЭП:

- **Кристаллические** (первое поколение):
  - монокристаллические кремниевые;
  - поликристаллические (мультикристаллические) кремниевые;
  - технологии выращивания тонкостенных заготовок: EFG (Edge Defined Film-fed crystal growth technique), S-web (Siemens), тонкослойный поликремний (Apex).
- **Тонкоплёночные** (второе поколение):

- кремниевые: аморфные, микрокристаллические, нанокристаллические, CSG (crystalline siliconon glass);
- на основе теллурида кадмия;
- на основе селенида меди-индия-галлия;
- **ФЭП третьего поколения:**
  - Фотосенсибилизированные красителем (dye-sensitized solar cell, DSC);
  - органические (полимерные) ФЭП;
  - неорганические ФЭП;
- **ФЭП на основе каскадных структур.**

### Применение ФЭП

Фотоэлектрические элементы могут устанавливаться на различных транспортных средствах: лодках, электромобилях и гибридных автомобилях, самолётах, дирижаблях и т.д. В Италии и Японии фотоэлектрические элементы устанавливают на крыши ж/д поездов. Они производят электричество для кондиционеров, освещения и аварийных систем. Компания «Solatec LLC» продаёт тонкоплёночные фотоэлектрические элементы для установки на крышу гибридного автомобиля «Toyota Prius». Эти фотоэлементы имеют толщину 0,6 мм, что никак не влияет на аэродинамику автомобиля. Фотоэлементы предназначены для зарядки аккумуляторов, что позволяет увеличить пробег автомобиля на 10 % [3].

20 ноября 1980 года Стив Птачек совершил полет на самолёте «SolarImpulse», питающемся только солнечной энергией. В 2010 г. солнечный пилотируемый самолет продержался в воздухе 24 часа. Военные испытывают большой интерес к беспилотным летательным аппаратам (БПЛА) на солнечной энергии, способным держаться в воздухе чрезвычайно долго — месяцы и годы. Такие системы могли бы заменить или дополнить спутники. На рис. 1.1 представлены беспилотные самолёты «Helios» с фотоэлементами на крыльях.



Рис. 1.1. Беспилотные самолёты «Helios»

### Использование солнечной энергии в химическом производстве

Солнечная энергия может применяться в различных химических процессах. Например:

- Израильский институт «Weizmann Institute of Science» в 2005 году испытал технологию получения не окисленного цинка в солнечной башне. Оксид цинка в присутствии древесного угля нагревался зеркалами до температуры  $1200^{\circ}\text{C}$  на вершине солнечной башни. В результате процесса получался чистый цинк. Далее цинк можно герметично упаковать и транспортировать к местам производства электроэнергии. На месте цинк помещается в воду, в результате химической реакции получается водород и оксид цинка. Оксид цинка можно ещё раз поместить в солнечную башню и получить чистый цинк. Технология прошла испытания в солнечной башне канадского Institute for the Energies and Applied Research.
- Швейцарская компания Clean Hydrogen Producers (CHP) разработала технологию производства водорода из воды при помощи параболических солнечных концентраторов. Площадь зеркал установки составляет  $93\text{ м}^2$ . В фокусе концентратора температура достигает  $2200^{\circ}\text{C}$ . Вода начинает разделяться на водород и кислород при температуре более  $1700^{\circ}\text{C}$ . За световой день в течение 6,5 часов ( $6,5\text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{кв.м}$ ) установка CHP может разделить на водород и кислород 94,9 литров воды. Производство водорода составит 3800 кг в год (около 10,4 кг в день).

Солнечные установки (рис. 1.2) могут быть предназначены для отопления и горячего водоснабжения жилых домов. Солнечные энергетические установки способны сэкономить дорогостоящее минеральное топливо, благодаря разумному использованию солнечного излучения. На рис. 1.3 представлены примеры домов с солнечными батареями.

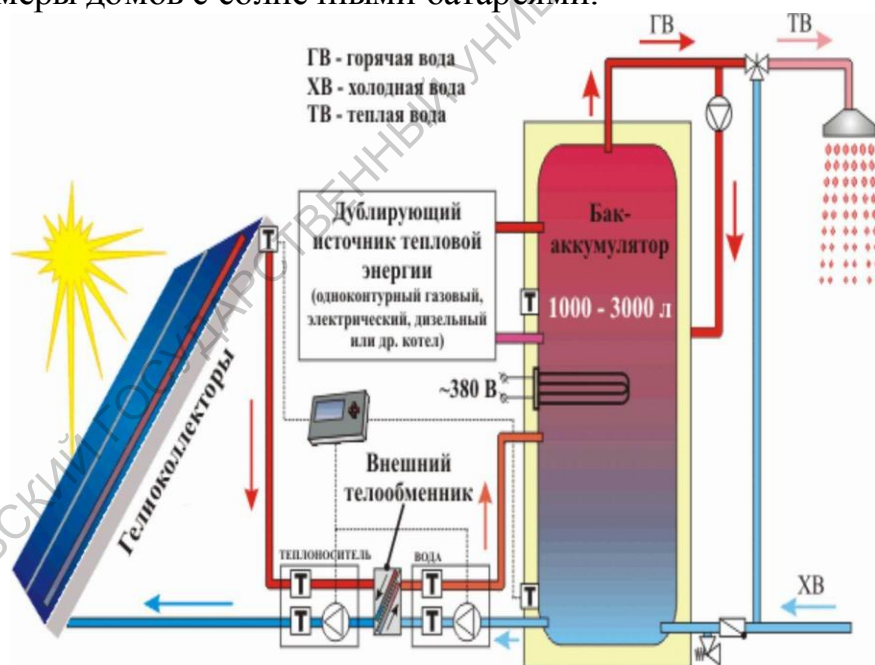


Рис. 1.2. Солнечная установка по производству горячей воды





Рис. 1.3. Дома с солнечными батареями на крыше

В конце 80-х годов наиболее распространёнными предметами личного обихода, в которых использовалась солнечная энергия, были портативные «солнечные кухни» (рис. 1.4). В это же время в Японии появилась солнечная тепловая электростанция. На рис.1.5 представлены современные солнечные тепловые электростанции.



Рис. 1.4. Портативные «солнечные кухни»





Рис. 1.5. Солнечные тепловые электростанции

**Достоинства солнечной энергетики** – общедоступность и неисчерпаемость источника и теоретически полная безопасность для окружающей среды (однако в настоящее время в производстве фотоэлементов и в них самих используются вредные вещества).

#### **Недостатки солнечной энергетики**

- Зависимость от погоды и времени суток.
- Как следствие необходимость аккумуляции энергии.
- При промышленном производстве – необходимость дублирования солнечных электростанций (ЭС) маневренными ЭС сопоставимой мощности.
- Высокая стоимость конструкции, связанная с применением редких элементов (к примеру, индий и теллур).
- Необходимость периодической очистки отражающей поверхности от пыли.
- Нагрев атмосферы над электростанцией.

#### **Задачи**

##### ***Энергия солнца. Солнечные коллекторы***

1. Имеется плоский пластинчатый нагреватель с размерами  $2 \times 0,8 \text{ м}^2$ . Сопротивление теплопотерям составляет  $R_n = 0,13 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ; температура приемной поверхности коллектора  $T_n$  увеличивается на  $20^\circ\text{C}$ ; температура окружающего воздуха  $T_{oc} = 22^\circ\text{C}$ ; коэффициент пропускания солнечного излучения прозрачным покрытием  $m_{нов} = 0,9$  для одинарного стеклянного

покрытия; коэффициент поглощения приемной поверхностью коллектора солнечного излучения  $\alpha = 0,9$  для одинарного стеклянного покрытия, облученность поверхности солнечного коллектора  $I = 750 \text{ Вт/м}^2$ ; начальная температура воды  $T_n = 20^\circ\text{C}$ ;  $\rho$  - плотность воды, равная  $1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $c$  - теплоемкость воды, равная  $4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ . Определить требуемый объемный расход воды  $L$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , для обеспечения условия повышения температуры воды на выходе из коллектора на  $10^\circ\text{C}$ .

2. Постройте зависимость расхода воды:

- 1) от площади коллектора по условиям задачи 1:  $A = 2; 3; 6; 10; 20; 40; 100; 200 \text{ м}^2$ ;
- 2) от температуры входящей жидкости  $T_n = 12; 15; 18; 20; 24^\circ\text{C}$ ;
- 3) от температуры окружающего воздуха  $T_{oc} = 20; 24; 28; 32; 36^\circ\text{C}$ ;
- 4) от температуры выходящей жидкости  $T_k = 30; 35; 40; 45^\circ\text{C}$ ;
- 5) от температуры поверхности коллектора  $T_n = 40; 45; 50; 55; 60^\circ\text{C}$ .

3. Постройте зависимость температуры воды на выходе:

- 1) от площади коллектора по условиям задачи 1.  $A = 2; 3; 6; 10; 20; 40; 100; 200 \text{ м}^2$ ,
- 2) от температуры входящей жидкости  $T_n = 12; 15; 18; 20; 24^\circ\text{C}$ ,
- 3) от температуры окружающего воздуха  $T_{oc} = 20; 24; 28; 32; 36^\circ\text{C}$ ,
- 4) от расхода воды  $G = 10; 15; 20; 25; 30; 35 \text{ кг/с}$ ,
- 5) от температуры поверхности коллектора  $T_n = 40; 45; 50; 55; 60^\circ\text{C}$ ,
- 6) от интенсивности солнечной радиации  $I = 450; 500; 600; 700; 800; 900 \text{ Вт/м}^2$ .

## 1.2. Ветровая энергия

Энергия движущихся воздушных масс огромна. Запасы энергии ветра более чем в сто раз превышают запасы гидроэнергии всех рек планеты. Ветры, дующие на просторах нашей страны, могли бы легко удовлетворить все её потребности в электроэнергии. Почему же столь обильный, доступный и экологически чистый источник энергии так слабо используется? В наши дни двигатели, использующие ветер, покрывают всего одну тысячную мировых потребностей в энергии! На рис. 1.6 представлена диаграмма, отображающая доли добываемых ресурсов в 2001 году и с прогнозом на 2020 год.

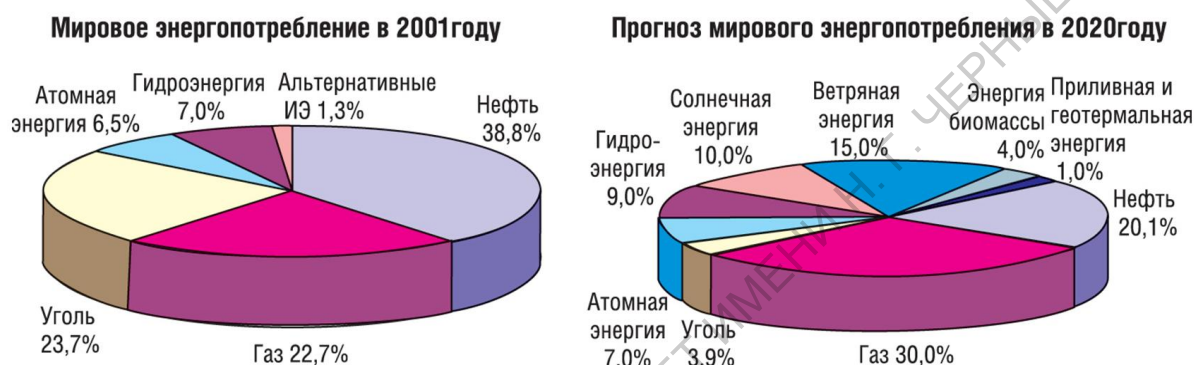


Рис. 1.6. Структура мирового энергопотребления в 2001 году и прогноз на 2020 год

Из диаграммы видно, что в 2001 году на долю углеводородных ресурсов приходится около 85% всего энергопотребления. Но уже в 2006 году рынок электронных модулей для преобразователей ветроэнергетических установок (ВЭУ) достиг 5%. По прогнозам на 2020 год, суммарный вклад альтернативных источников энергии составит около 30%, а доля углеводородов снизится до 55% [4].

Энергия ветра очень велика. Ее запасы по оценкам Всемирной метеорологической организации составляют 170 трлн. кВт·ч в год. Эту энергию можно получать, не загрязняя окружающую среду.

В России в 1918 году получением электричества с помощью ветра заинтересовался профессор В. Залевский. Он создал теорию ветряной мельницы и сформулировал ряд принципов, которым должен отвечать ветрогенератор. В 1925-м профессор Н. Жуковский организовал отдел ветряных двигателей в Центральном аэрогидродинамическом институте.

В 30-х годах XX века руководство Советского Союза всерьез озаботилось использованием энергии ветра. Было налажено производство ветроустановок мощностью 3-4 кВт, причем выпускались они сериями. Самую первую ветроэлектрическую станцию в СССР установили в 1930 году в городе Курске. Мощность станции равнялась 8 кВт.

В 1931 году в СССР заработала самая крупная в мире Ялтинская ветроэлектростанция (ВЭС) мощностью 100 кВт. Строительство и установка ветрогенераторов шло высокими темпами вплоть до начала 60-х. Достаточно

сказать, что с 1950 по 1955 годы Союз выпускал до 9 тысяч ветроустановок ежегодно. Когда осваивалась целина в Казахстане, советские люди соорудили первую многоагрегатную ВЭС, работавшую совместно с дизелем; общая мощность данной установки составляла 400 кВт.

До середины 90-х годов прошлого века по суммарной мощности ветроэнергетических установок первенство держали США. Однако в 1996 году в Западной Европе оказалось 55% мировых мощностей ветроэлектростанций. До середины 90-х XX века в мире больше всего производили ветрогенераторов мощностью от 100 до 500 кВт. Затем наметилась тенденция к выпуску установок мощностью до 2000 кВт. Это поистине исполинские ветряки, высота которых превышает 100 метров.

Несмотря на постоянно увеличивающиеся темпы роста числа ветроэлектростанций, доля электроэнергии, получаемой силой ветра, составляет чуть более 1% от общей величины выработки электроэнергии в мире.

Потенциал ветровой энергии Российской Федерации составляет более 50 000 миллиардов кВт·ч/год. В переводе на язык экономики - это приблизительно 260 млрд кВт·ч/год, что равняется примерно 30% от электроэнергии, производимой всеми отечественными электростанциями.

Одна из самых мощных российских ветроэлектростанций размещается в районе поселка Куликово Зеленоградского района Калининградской области. Ее мощность - 5,1 МВт (ветропарк состоит из 21 ветроэнергетической установки, занимает примерно 20 гектар и способен обеспечить электричеством 145 квартир), а среднегодовая выработка - около 6 млн кВт·ч/год. Также стоит назвать Анадырскую ВЭС мощностью 2,5 МВт на Чукотке.

В ближайшие годы в самых разных странах мира планируется существенно увеличить количество получаемой электроэнергии от ветряков. Однако распространение ВЭС может быть затруднено по ряду причин. Во-первых, сила ветра непостоянна. Поэтому существует опасность нарушения работы общей энергосистемы в том случае, если в ней будет присутствовать значительная доля электроэнергии, получаемой от ВЭС (согласно некоторым расчетам - эта доля в 20-25%). Кроме того, "нестабильность" ветра вынуждает человека думать о резервных источниках электроэнергии, которые бы могли в нужный момент компенсировать недостающую часть электроэнергии.

Во-вторых, ветряные энергетические установки издают приличный шум, что вынудило в ряде европейских стран принять закон, ограничивающий уровень шума ветряков до 45 дБ днем и до 35 дБ в ночное время. К шуму добавляется низкочастотная вибрация, передающаяся через почву. Вот почему жилые дома размещаются обычно на расстоянии 300 метров и более от ветряных энергетических установок.

В-третьих, металлические составляющие ветряков производят радиопомехи, из-за чего в некоторых местах приходится даже строить рядом дополнительные ретрансляторы.

Безусловно, нестабильность ВЭС в плане подачи электроэнергии - самый главный их недостаток.

В связи с этим, логично выглядит идея перевода ВЭС на выдачу не электрической энергии промышленного качества (~ 220В, 50 Гц), а постоянного или переменного тока, который бы затем преобразовывался с помощью ТЭНов в тепло, например, для получения горячей воды, обогрева и прочих нужд. В этом случае проблема бесперебойности подачи тока уходит на второй план.

Кроме того, в мире функционируют ветродвигатели, с помощью которых не добывают электричество, а поднимают воду из колодцев. Подобные установки находятся в Казахстане, Узбекистане и ряде других стран. Как видим, и в современном мире ветряки применяются достаточно широко.

### Ветрогенераторы

Ветрогенератор (ветроэлектрическая установка или сокращенно ВЭУ) — устройство для преобразования кинетической энергии ветра в электрическую.

Ветрогенераторы можно разделить на две категории: промышленные и домашние (для частного использования). Промышленные устанавливаются государством или крупными энергетическими корпорациями. Как правило, их объединяют в сети, в результате получается ветряная электростанция. Её основное отличие от традиционных (тепловых, атомных) — полное отсутствие как сырья, так и отходов. На рис. 1.7 представлено общее строение ветрогенератора.

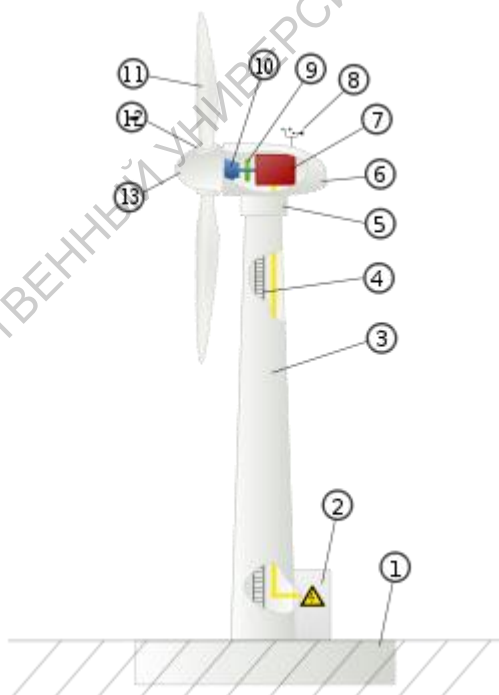


Рис. 1.7. Общее строение ветрогенератора

1 - фундамент, 2 - силовой шкаф, включающий силовые контакторы и цепи управления, 3 - башня, 4 - лестница, 5 - поворотный механизм, 6 - гондола, 7 - электрический генератор, 8 - система слежения за направлением и скоростью ветра (анемометр), 9 - тормозная система, 10 - трансмиссия, 11 - лопасти, 12 - система изменения угла атаки лопасти, 13 - колпак ротора.



Принцип работы состоит в следующем: вращаясь ротор генератора создаёт трёхфазный переменный ток, который передаётся на контроллер, далее ток преобразуется в постоянное напряжение и подаётся на аккумуляторную батарею.

Ток, проходя по аккумуляторам, одновременно подзаряжает их. Далее ток подаётся на инвертор, где приводится в наши привычные показатели: переменный однофазный ток напряжением 220В и частотой 50 Гц. Если потребление небольшое, то сгенерированного электричества хватает для электроприборов и освещения, а если тока с ветряка мало и не хватает, то недостаток покрывается за счёт аккумуляторов.

Мощность ветрогенератора напрямую связана с площадью, заметаемой лопастями генератора. Самые большие в мире ветрогенераторы выпускает немецкая компания "Repower": диаметр ротора у таких турбин составляет 126м, вес гондолы - 200 тонн, высота башни - 120 м, а мощность доходит до 6 МВт.

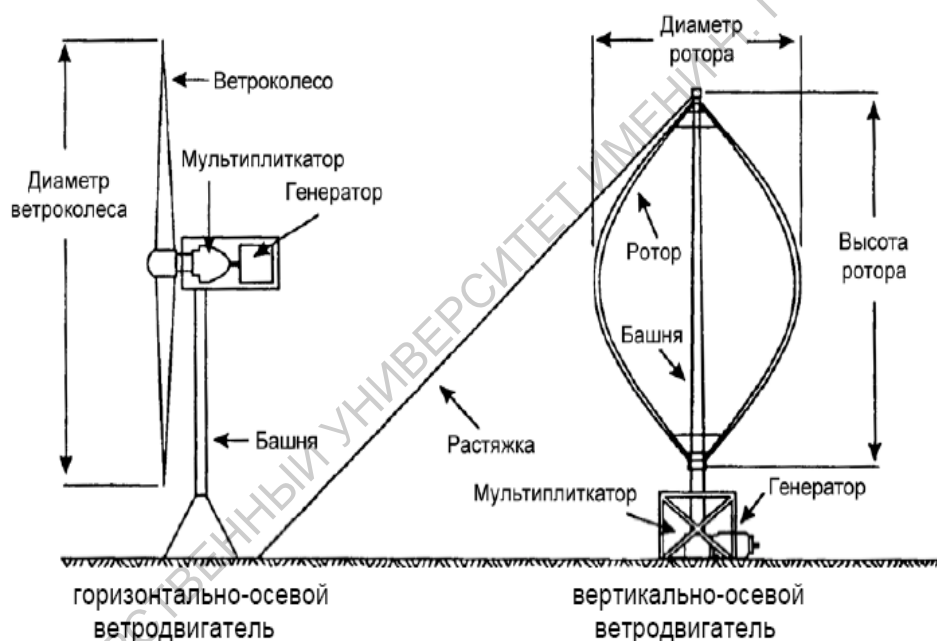


Рис. 1.8. Конструкции ветроэнергетических установок

У роторных ветрогенераторов на вертикальную ось "насажено" колесо с лопастями. В отличие от крыльчатых, такие ветряки способны функционировать при любом направлении ветра, не меняя своего положения. Это тихоходные установки, не создающие большого шума. В них используются многополюсные электрогенераторы, работающие на малых оборотах - это допускает применение простых электрических схем без опасности потерпеть аварию при порыве ветра.

Крыльчатые ветряки - это лопастные механизмы с горизонтальной осью вращения. Крыло-стабилизатор позволяет устанавливать систему в самое выгодное положение относительно потока ветра. Небольшие крыльчатые ВЭС постоянного тока соединяют с электрогенератором напрямую (без мультипликатора), более мощные снабжаются редуктором. На мировом рынке



доля крыльчатых ВЭС превышает 90%, чему причина - высокий коэффициент использования энергии ветра.

Среди альтернативных конструкций стоит упомянуть ветряные системы, в которых нет движущихся частей. Проносящийся ветер в них охлаждается и, благодаря термоэлектрическому эффекту Томсона, способствует выработыванию электрической энергии.

Также одним из типов электростанций без движущихся частей могут быть ветроэлектростанции, экстрагирующие энергию ветра с помощью цилиндров, приводимых в колебательное движение энергией ветра. Американская фирма «Atelier DNA» разрабатывает ветроэлектростанции данного типа, в которых количество ветростеблей будет достигать 1 тыс. Расстояние между ними 10–20 метров. Высота ветростеблей 55 метров с бетонным основанием. Диаметр ветростеблей, выполненных из пропитанного смолой углеволокна, у основания составляет 0,3 м, а к вершине конструкция сужается до 0,05 м. Каждый ветростебель содержит электродные слои и керамические диски из пьезоэлектрического материала, при сжатии генерирующие ток (рис. 1.9). Планируется снимать с таких ветроферм электрическую мощность в десятки мегаватт.

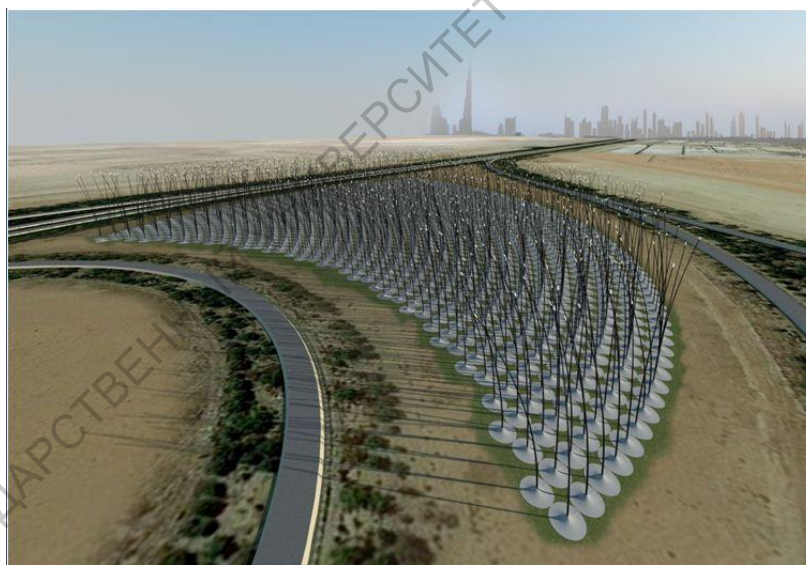


Рис. 1.9. Ветроэлектростанция с вибрирующими ветростеблями

Ветряные установки вот уже более ста лет помогают человеку получать электричество буквально из ничего, используя лишь кинетическую энергию воздушных масс атмосферы. Тем самым, экономятся традиционные виды топлива (дрова, уголь, нефть, природный газ), уменьшается загрязнение окружающей среды.

Ветроэнергетика существует в более чем 50 странах мира. Страны-лидеры по суммарно установленным мощностям: Германия (18428 МВт), Испания (10027 МВт), США (9149 МВт), Индия (4430 МВт), Нидерланды (1290 МВт), Китай (1260 МВт) и Португалия (1000 МВт) [5].

## Расчет энергетических характеристик ВЭУ

Запас энергии воздушных потоков (или ветровой потенциал) характеризуется, прежде всего, устойчивыми значениями скорости ветра на уровне размещения ветрового колеса.

Для определения локальных значений скорости ветра на заданно высоте используется соотношение

$$U_Z = U_{10} (Z/10)^b \quad (1.1)$$

где  $U_Z$  – скорость ветра на определяемой высоте  $Z$ , м/с;

$U_{10}$  – стандартное значение скорости ветра для данной местности на высоте флюгера 10 м, м/с;

$b$  – параметр соотношения, зависящий от времени года и рельефа местности (для открытых мест приблизительно равно 0,14).

Соответственно, при скорости ветра  $U$  на уровне оси ветрового колеса мощность  $P$ , развиваемая ветроэнергетической установкой, определяется из соотношения:

$$P = c_p S_{ом} \frac{\rho U^3}{2} \quad (1.2)$$

где  $S_{ом} = \pi D^2/4$  – ометаемая площадь (площадь, покрываемая лопастями ветрового колеса диаметром  $D$  при его вращении);

$c_p$  – коэффициент мощности, характеризующий эффективность использования ветровым колесом энергии ветрового потока и зависящий от конструкции ветрового колеса;

$\rho$  – плотность воздуха.

## ЗАДАЧИ

### *Ветроэнергетика. Мощность ветроэнергетических установок*

1. Определить вертикальный профиль ветра, если известно, что на высоте  $h$ , м, скорость ветра составила  $v$ , м/с.

2. Определить диаметр ветроколеса, необходимый для ветроустановок мощностью 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000 кВт при скорости ветра  $v = 12$  м/с; коэффициенте использования энергии ветра  $\zeta = 0,3$ ; плотность воздуха принять равной  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>.

3. На какой высоте целесообразно размещать ветродвигатели, если известно, что на высоте  $h = 1,5$  м скорость ветра составила  $v = 5$  м/с. Потребность в энергии составляет 100 кВт. Сколько потребуется установок, если диаметр ветроколеса равен  $D$ , м.

4. На острове Фейр в Северном море проживают 70 человек. Там трудности с углем, нефтью, бензином - все нужно завозить. Однако, на острове постоянно дуют ветра со средней скоростью 8 м/с. Определите число и мощность ветроустановок, которые могут обеспечить энергией данный населенный пункт. Структура энергопотребления следующая: освещение,

бытовые приборы - 3 кВт; отопительные установки, электроплиты - 35 кВт; теплицы - 7 кВт; зарядка автомобилей - 5 кВт. Диаметр ветроколеса  $D$ , м.

5. В нижнесаксонской деревне Бимольтен на высоте 98 метров установлены 14 ветротурбин. Определить их установленную мощность, если их диаметр составляет 10 м. Известно, что на высоте  $h = 2$  м скорость ветра  $v = 6,8$  м/с.

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

### 1.3. Изотоп «Гелий-3»

На сегодняшний день одним из перспективных источников большого количества энергии является ядерная энергия.

Ядерная энергия (атомная энергия) — энергия, содержащаяся в атомных ядрах и выделяемая при ядерных реакциях и радиоактивном распаде. При этом температура процесса должна достигать до сотен миллионов градусов. В природе подобные условия, подходящие для синтеза, существуют лишь в недрах звезд. Солнце своей энергией обязано так называемому гелиевому циклу реакций.

Гелиевый цикл реакций ядерного синтеза начинается со слияния двух протонов в ядро дейтерия. На следующих этапах образуются более сложные ядра. Простейшие реакции ядерного синтеза имеют следующий вид:



Скорость реакции определяется вероятностью преодоления электростатического барьера при сближении двух положительно заряженных ионов и вероятностью собственно слияния ядер (так называемым сечением взаимодействия). В частности, чем выше кинетическая энергия ядра и чем меньше его электрический заряд, тем больше шансов пройти электростатический барьер и тем выше скорость реакции.

Ключевой параметр теории термоядерной энергетики — критерий зажигания реакции — определяет, при какой плотности и температуре плазменного топлива энергия, выделяемая при синтезе (пропорциональная скорости реакции, умноженной на плотность плазмы и время горения), превысит затраты на нагрев плазмы с учётом потерь и коэффициента полезного действия.

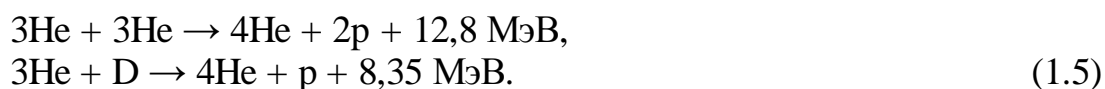
Наибольшая скорость у реакции дейтерия и трития. Чтобы достичь зажигания плазму с концентрацией около 10<sup>14</sup> см<sup>-3</sup> необходимо нагреть до полутора сотен миллионов градусов и удерживать 1–2 секунды.

Термоядерная реакция, происходящая с участием трития, описывается уравнением:



Именно такая реакция рассматривается как основная в планируемых проектах. Однако недостатком такой реакции является, во-первых, необходимость для нее сильно радиоактивного трития, а, во-вторых, то, что

входе такой реакции возникает сильное нейтронное излучение. Поэтому в последнее время создаются проекты «безнейтронной» термоядерной реакции, топливом для которой служит гелий-3 – легкий изотоп гелия. Уравнения «безнейтронных» термоядерных реакций имеют вид:



Преимущество реакций на гелии-3 по сравнению с дейтериево-тритиевой реакцией в том, что, во-первых, для нее не требуется радиоактивных изотопов в качестве топлива, а, во-вторых, получаемая энергия уносится не с нейтронами, а с протонами, из которых извлечь энергию будет легче.

Единственная проблема – практическое отсутствие гелия-3 на Земле.

На первый взгляд проблем с тем, где взять гелий, быть не должно: он второй по распространённости во Вселенной элемент, а относительное содержание в нём лёгкого изотопа составляет немногим меньше одной тысячной доли. Однако для Земли гелий — редкий элемент. Это очень летучий газ. Земля не может удержать его своим тяготением, и почти весь первичный гелий, попавший на неё из протопланетного облака при образовании Солнечной системы, вернулся из атмосферы обратно в космос. Гелий был сначала обнаружен на Солнце, почему и получил название в честь древнегреческого бога Гелиоса. Позже его нашли в минералах, содержащих радиоактивные элементы, и, наконец, обнаружили в атмосфере среди других благородных газов.

Земной гелий имеет в основном не космическое, а вторичное, радиационное, происхождение: при распаде радиоактивных химических элементов вылетают альфа-частицы — ядра гелия-4. Гелий-3 так не образуется, и поэтому его количество на Земле ничтожно и исчисляется буквально килограммами.

Запаситься гелием космического происхождения (с относительно большим содержанием гелия-3) можно в атмосферах Урана или Нептуна — планет достаточно больших, чтобы удержать этот лёгкий газ, или на Солнце.

Солнечная плазма оседает на поверхности небесных тел, не имеющих магнитосферы и атмосферы, например, на Луне, и, значит там можно добывать гелий-3, который накапливался последние четыре миллиарда лет. В результате плазменной бомбардировки на Луну за это время выпало несколько сотен миллионов тонн гелия-3. Если бы весь солнечный ветер оставался на поверхности Луны, то кроме 5 граммов гелия-3 на каждом квадратном метре поверхности оказалось бы в среднем ещё 100 килограммов водорода и 16 — гелия-4. Из этого количества можно было бы создать вполне приличную атмосферу, лишь немногим более разреженную, чем марсианская, или океан жидкого газа двухметровой глубины!

Однако ничего подобного на Луне нет, и лишь очень малая доля ионов солнечного ветра навсегда остаётся в верхнем слое лунного грунта — реголите.

Исследования лунного грунта, привезённого на Землю советскими станциями „Луна“ и американскими „Аполлонами“, показали, что гелия-3 в нём примерно 1/100-миллионная часть, или 0,01 грамма на 1 тонну. А всего на Луне около миллиона тонн этого изотопа - по земным меркам очень много. При современном уровне мирового энергопотребления лунного топлива хватило бы на 10 тысяч лет, что примерно в десять раз больше, чем энергетический потенциал всего извлекаемого химического топлива (газа, нефти, угля) на Земле.

### **Добыча гелия**

К сожалению, никаких „озёр“ гелия на Луне нет, он рассеян по всему приповерхностному слою.

Чтобы обеспечить современную годовую потребность Земли в энергии, необходимо завезти с Луны всего лишь около 100 тонн гелия-3. Именно это количество, соответствующее трём-четырёх рейсам космических челноков — шаттлов, и завораживает своей доступностью. Однако сначала надо перекопать около миллиарда тонн лунного грунта — не такое уж большое количество по меркам горной промышленности: например, угля за год в мире добывают два миллиарда тонн (в России — около 300 миллионов тонн).

Гелий-3 дороже практически любого вещества, используемого человеком, — одна тонна стоила бы как минимум миллиард долларов, если пересчитать энергетический потенциал гелия в нефтяной эквивалент по бросовой цене 7 долларов за баррель.

Гелий-3 еще нужно отделить от гораздо большего количества других газов, в основном от гелия-4. Это делают, охлаждая газы до жидкого состояния и пользуясь незначительной разницей температур кипения изотопов (4,22 К для гелия-4 или 3,19 К для гелия-3).

Другой способ разделения основан на использовании свойства сверхтекучести жидкого гелия-4, который может самостоятельно перетечь через вертикальную стенку в соседнюю ёмкость, оставив после себя только несверхтекучий гелий-3. Это можно осуществить в безвоздушном пространстве на Луне.

### **Проекты по добыче изотопа гелия-3**

Россия планирует создать постоянную базу на Луне и отработать транспортную схему для доставки на Землю гелия-3.

Это заявление главы ракетно-космической корпорации "Энергия" Николая Севастьянова способно потрясти воображение: чтобы обеспечить на год все человечество энергией, необходимо лишь два-три полета на Луну за этим изотопом.

Гелий-3 по мнению ученых самый перспективный источник энергии, его запасы в верхних слоях поверхности Луны достигают около 500 млн. тонн, что может полностью обеспечить земную энергетику на срок более 1000 лет.



Добычу гелия-3 на Луне и вывоз его космическими кораблями, по мнению академика Российской академии наук, члена бюро Совета по космосу РАН Эрика Галимова, можно будет начать через 30-40 лет.

Извлекать гелий-3 из недр Луны российские ученые предполагают с помощью своеобразных "лунных бульдозеров", которые после нагрева грунта будут получать изотоп с поверхности.

Однако не только Россия рассчитывает воспользоваться лунными полезными ископаемыми. США еще раньше наших космических специалистов заявляли о строительстве своей собственной лунной базы.

Все дело в том, что сейчас на Земле нет технологии (и в ближайшие, как минимум, 50 лет не предвидится ее появления) сжигания гелия-3 в термоядерной реакции. Расчетная температура "поджига" термоядерной реакции - 100-200 млн. градусов. Для использования гелия-3 температура должна быть на порядок-два выше.

#### 1.4. Биотопливо

Биотопливо – это топливо, которое производится из возобновляемых природных источников. Биомасса определяется как любое неископаемое вещество биологического происхождения. Биологические вещества растительного происхождения накапливают энергию, извлекая её из солнечного излучения. Этот сложный процесс преобразования солнечной энергии, в результате которого получается глюкоза, называется фотосинтезом. С помощью биологического преобразования биомассы может быть получен ряд важных для химической промышленности веществ. Эффективность процесса фотосинтеза не превышает 8%, тогда как для получения растительной биомассы необходимо затратить множество усилий: выращивание, удобрение, сбор конечного продукта. Таким образом, суммарная эффективность полного цикла получения энергии из биомассы оценивается менее чем в 1%. Однако, несмотря на все минусы, коммерческий интерес к использованию биомассы достаточно велик как по экономическим, так и по экологическим причинам [6].

#### Состав биомассы

Любое растение можно рассматривать как некую структуру со специализированными органами, обеспечивающими его рост и развитие. Так, за процесс фотосинтеза в растениях отвечают преимущественно листья.

Общая реакция ферментации глюкозы выглядит следующим образом:



Теплота сгорания глюкозы 15,6 МДж/кг. При сгорании 2 кмоль будет получено 2,73 ГДж теплоты, соответственно.

## Биомасса как топливо

Известно несколько способов использования биомассы в качестве топлива:

1. Сжигание биомассы. Древесина, отходы сельскохозяйственного производства (шелуха пшеницы и риса, стволы кукурузы) и другие биологические отходы могут сжигаться в обыкновенной топке. Теплота сгорания максимально высушенной биомассы находится в интервале 15-19 МДж/кг.
2. Получение из древесины древесного угля, имеющего лучшие энергетические характеристики по сравнению с исходным продуктом.
3. Газификация древесины с получением горючих газов.
4. Получение из древесины метанола.
5. Использование пальмового масла в качестве топлива для дизельных двигателей.
6. Использование сока некоторых растений, очень богатых углеводами, так же как и пальмового масла, напрямую в дизельных двигателях.
7. Ферментация сахаров и крахмала с получением биоэтанола.
8. Получение из биомассы богатого метаном биогаза.

Энергетическое использование биомассы имеет одно неоспоримое преимущество по сравнению с использованием ископаемого топлива: при сжигании биомассы (относят дрова, щепу, опилки, торф, солому, листья, кору и хвою, а также брикеты) не увеличивается общее количество  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Этот факт объясняется тем, что при сжигании биомассы выделяется ровно такое же количество диоксида углерода, какое растения поглотили из атмосферы и преобразовали в кислород и органические соединения. Поэтому общий баланс диоксида углерода в атмосфере не нарушается. Установлено, что увеличение содержания углекислого газа в атмосфере изменяет характеристики пропускной способности атмосферы, что вызывает парниковый эффект, который приводит к увеличению средней температуры на поверхности земли.

Не всё пока просто и с переработкой биомассы в биотопливо из-за десятка промежуточных этапов химической и физической обработки, множества реактивов и побочных отходов производства.

Выходом из ситуации могли бы стать простые технологии, включающие минимум этапов переработки сырья. Новый процесс переработки биомассы в биотопливо, разработанный учёными из Университета Висконсин-Мэдисон (University of Wisconsin-Madison) и представленный в статье под названием "Simple Chemical Transformation of Lignocellulosic Biomass to Furans for Fuels and Chemicals" в одном из февральских выпусков Журнала Американского Химического общества (Journal of the American Chemical Society), описывает беспрецедентно простой способ получения биотоплива из необработанной непищевой биомассы путём 2-этапного преобразования.

Основа метода – первый этап, в процессе которого основной компонент биомассы – целлюлоза, превращается в вещество "5-гидроксиметилфурфурол" (рис. 1.10).

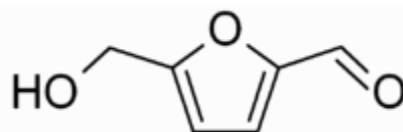


Рис. 1.10. Структурная формула 5-гидроксиметилфурфурол

На практике это соединение представляет собой превосходную "химическую основу" для производства множества самых разнообразных органических химических веществ. В том числе, на втором этапе - того самого требуемого биотоплива. Многие учёные занимались вопросом получения 5-гидроксиметилфурфурола непосредственно из биомассы, однако методики были значительно сложнее, и к тому же начало преобразований идёт от глюкозы или фруктозы.

Однако главное преимущество – именно в первом едином этапе и изначальной работе с целлюлозой. Для этого учёные применяют уникальный запатентованный "растворитель", изготовленный из смеси сольвентов и специальных добавок. Точная формула данного растворителя не установлена, однако в описании процесса учёные описывают его как диметилацетамид с содержанием хлорида лития.

Одним из необычных свойств этого растворителя как раз и является невероятная производительность по растворению длинных энергетически богатых полисахаридных цепей целлюлозы, которыми богаты любые растения. Растворитель при этом достаточно прост, не едок, не обладает резким запахом, химически не опасен для здоровья и главное - недорог. Этот растворитель действует достаточно быстро (1–5 часов) с высокой производительностью (до 92%) при сравнительно низкой температуре (менее 140°C).

В качестве простого второго этапа учёные предлагают преобразование 5-гидроксиметилфурфурола в вещество "2,5-диметилфуран" (рис. 1.11).

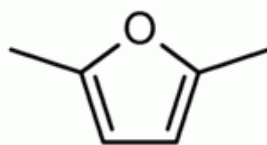


Рис. 1.11. Структурная формула 2,5-диметилфуран

Самое интересное – это, конечно, производительность процесса. В настоящее время учёным удалось добиться 9% эффективности переработки биомассы в биотопливо. Это означает, что 9% целлюлозы, содержащейся в применявшихся для эксперимента стеблях кукурузы, были полностью переработаны в биотопливо.

Также интересно отметить, что помимо стеблей кукурузы в качестве сырья для процесса учёные также использовали обычные сосновые опилки с примерно схожим результатом. Эксперименты с разными типами сырья, судя по публикации, будут продолжены, однако учёные уверены, что процесс универсален и для производства 5-гидроксиметилфурфуrolа или 2,5-диметилфурана подойдёт практически любой тип растительной биомассы.

Возможно, КПД процесса получения биотоплива пока не столь уж впечатляющ, однако учёные продолжают работать над его оптимизацией и обещают значительным образом его улучшить (особенно на втором этапе).

### **Перспективы биотоплива из морских водорослей**

На сегодняшний день существует альтернативные виды энергии, которые позиционируются как замена автомобильному топливу. Некоторые из них – такие как электрические батареи, этанол, биодизельное топливо понемногу превращаются в массовое явление, некоторые по-прежнему остаются экзотикой.

Количество причин, по которым те или иные технологии получения топлива не доходят до заметной фазы коммерциализации, достаточно ограничено, но, как правило, это низкая рентабельность производства, сводящая на нет все плюсы из-за высокой себестоимости продукции, слишком большие объёмы первоначальных инвестиций или сложности с внедрением новых видов двигателей под эти новые виды топлива. Электромобили, к примеру, при массовом использовании потребуют создания национальных колонок "электрозаправки". Другой пример: биодизельное топливо уже не редкость на заправочных станциях, однако для запуска его в производство потребовалось вложить значительные средства. Или взять тот же этиловый спирт: даже если отбросить в сторону вопросы себестоимости его производства, всё равно приходится или использовать этанол лишь в качестве небольших добавок к обычному топливу, или переделывать двигатели под полноценное его использование.

Для некоторых видов альтернативного топлива до сих пор актуальны все эти вопросы. И только огромные перспективы, открывающиеся перед человечеством в случае успешного доведения таких технологий до производственной фазы, побуждают финансистов и правительства поддерживать эти разработки, а учёных биться над очередными проблемами. Дело ведь не только в экологии, недорогие способы получения энергии также позволят успешным разработчикам получить впоследствии невероятные прибыли, а правительствам – стать независимыми от природных

невозобновляемых источников энергии, вне зависимости рано они закончатся или поздно.

Одним из наиболее интересных и перспективных видов альтернативного топлива считается водород. Среди наиболее распространённых способов получения водорода выделяют паровую конверсию метана или природного газа, газификацию угля, электролиз воды, пиролиз, частичное окисление и различные разновидности биотехнологий. Из всего этого списка сегодня нас интересует последний пункт – получение водорода из водорослей.

Под водорослями в широком смысле подразумеваются самые различные одноклеточные и многоклеточные организмы, самых причудливых форм и размеров (от долей микрона до 40 м). Водоросли (лат. *Algae*) — группа автотрофных, обычно водных, организмов; содержат хлорофилл и другие пигменты и вырабатывают органические вещества в процессе фотосинтеза. Нас в большей степени интересуют микроводоросли.

Обычно микроводоросли обитают везде, где есть влага, однако наиболее обширными "поставщиками" водорослей в естественной среде являются болота и озёра, в том числе, солёные. Например, в озере Сиваш (Крым, Нижнегорский район) в конце лета цветут микроводоросли «*Dunaliella Salina*». Озеро приобретает различные оттенки красного цвета – от малинового до кирпичного по причине, что «*Dunaliella Salina*» вырабатывает большие количества бета-каротина (рис. 1.12).



Рис. 1.12. Озеро Сиваш

В полной аналогии с растениями для роста водорослям требуется три главных компонента – солнечный свет, двуокись углерода и, конечно же, вода. В процессе фотосинтеза – ключевого биопроцесса для растений, водорослей и

ряда бактерий, энергия солнца перерабатывается в "химическую энергию". Помимо этого, микроводоросли умудряются аккумулировать в качестве материала для строения мембраны различные липиды и жирные кислоты, при этом их содержание колеблется у разных видов водорослей в пределах от 2% до 40% от общего веса. Именно эти компоненты интересуют учёных в первую очередь.

Таблица 1

Годовой выход топлива с акра занимаемой площади

	Объем, галлонов
Кукуруза	18
Соя	48
Сафлор	83
Подсолнечник	102
Рапс	127
Пальмовое масло	635
Микроводоросли (достигнутые показатели)	1850
Микроводоросли - (теоретические лабораторные показатели)	5000 - 15000

Из таблицы 1. видно, что микроводоросли лидируют по выходу топлива среди других потенциальных источников. Этот факт заставляет ученых всего мира разрабатывать новые технологии по производству биотоплива.

В промышленности водоросли выращивают в специально предназначенных емкостях, которые имеют различное аппаратное оформление (рис. 1.13 и 1.14).



Рис. 1.13. «Садки» для выращивания водорослей



Рис. 1.14. Бассейны для выращивания водорослей



В последнее время внимание разработчиков биотоплива постепенно смещается с наземных ресурсов на морские. В этом нет ничего удивительного, поскольку способность мирового океана по воспроизведению биологических ресурсов всегда оставалась вне конкуренции. Вот почему учёные, занимающиеся вопросами получения биотоплива из различных растений, в последнее время наиболее активно интересуются потенциалом морских разновидностей водорослей.

Весьма значительных успехов в этом направлении в последнее время добились учёные из Океанографического института Scripps (Scripps Institution of Oceanography) при Калифорнийском Университете Сан Диего, принимающие участие в работе регионального консорциума по разработке биотоплива из морских водорослей.

Одно из основных направлений биохимических исследований учёных из Океанографического института Scripps – процесс фотосинтеза, при котором зелёные организмы планеты потребляют солнечный свет, углекислый газ, питательные вещества и воду для дальнейшего производства кислорода, углеводов и биомассы.

Надо отметить, что вполне успешные эксперименты по получению биомассы из морских водорослей, пригодной для производства биотоплива, производились учёными этого института ещё в начале 1980-х.

По мнению исследователей, морские водоросли являются наиболее эффективными и неприхотливыми микроорганизмами на Земле, способными поглощать солнечную энергию и превращать её в маслянистую биомассу для получения биотоплива, практически эквивалентного по свойствам сырой нефти.

Преимущества морских водорослей очевидны даже по сравнению с самыми эффективными кандидатами на биотопливо из агрокультур, вроде кукурузы и соевых бобов, поскольку такие водоросли можно выращивать везде, где есть достаточное количество солнечной энергии - даже в бесплодных пустынях. Тем более, что для развития им требуется обычная солёная морская вода, а не пресная вода и ирригационные каналы в случае пахотных земель.

Помимо солнечного света для нормальной жизнедеятельности морским водорослям необходим углекислый газ, и здесь весьма пригодятся промышленные отходы, которые поглощаются водорослями без какой-либо промежуточной переработки. Необходимые питательные вещества водоросли могут усваивать из сточных вод, а богатые протеинами отходы от производства биотоплива из водорослей могут использоваться во многих сферах сельского хозяйства, вплоть до использования в качестве добавок в корма животным. По мнению участников проекта, при достаточных объёмах инвестиций создать мощнейшую индустрию получения биотоплива из морских водорослей можно всего лишь в течение ближайшего десятка лет.

Какими бы радужными и соблазнительными ни были проекты получения миллионов тонн биотоплива из зеленовато-лимонных морских водорослей, каждая из подобных идей обязательно должна быть протестирована на

практике в производственных масштабах. И здесь каждого, кто намерен вложить серьёзные инвестиции, ожидает ряд специфических сложностей. Для начала – создание промышленных масштабов "фермы" по производству биотоплива из морских водорослей потребует наличия гигантских "садков", способных обеспечивать наращивание сотен килограммов биомассы морских водорослей ежедневно. Помимо этого операторам таких ферм также придётся решить вопрос выбора сорта водорослей, наиболее производительных в плане дальнейшей переработки на биотопливо. Также до сих пор до конца не решены вопросы борьбы с различными загрязнителями, витающими в атмосфере и способными, оседая в садках с водорослями, препятствовать их быстрому приросту.

Исследования, проводившиеся учёными на протяжении десятков лет, позволили произвести серьёзную селекцию среди различных разновидностей морских водорослей на место оптимального "кандидата" для производства биотоплива в промышленных масштабах. К сегодняшнему дню лаборатория располагает несколькими сценариями разворачивания промышленного производства биотоплива из водорослей с различными биологическими моделями, применимыми на фермах по выращиванию морских водорослей в регионах с различными погодными условиями.

Так, ещё с начала 80-х годов в лаборатории доктора океанографии Вильяма Гервика производится исследование структуры молекул морских водорослей и протекающих в них метаболических процессов, ответственных за производство энергоёмких липидных масел.

Водоросли в процессе жизнедеятельности производят и накапливают капельки твёрдых липидов по тому же принципу, по которому жир накапливается в организме животных. Для преобразования капелек твёрдых липидов в жидкое состояние может применяться множество простых и давно отработанных технологических процессов. Ряд последующих действий с получившимся жидкими липидами приводит к превращению органических масел в биодизельное топливо для автомобилей и грузовиков, а в перспективе – и в топливо для авиации.

В настоящее время различными учёными коллективами во всём мире разрабатываются десятки различных сценариев организации ферм по производству биотоплива из биомассы морских водорослей. Так, наряду с проектами закачки солёной морской воды в садки на обширных территориях солнечных пустынь и идеями по прокачке через водоросли производственных и канализационных отходов, у учёных уже есть даже такие экзотические проекты как строительство дрейфующих и стационарных платформ по выращиванию водорослей непосредственно в открытом море, где всё необходимое для роста водорослей – солнце, вода, углекислый газ, питательные вещества, имеются в неограниченных количествах.

#### **«Ford» рассматривает водоросли в качестве сырья для биотоплива**

В последние несколько лет поднялось много шума по поводу использования водорослей для производства биотоплива, альтернативного

тому, что мы привыкли заливать в бензобак. Не отстает и американская автомобильная корпорация «Ford», которая в ближайшее время серьезно возьмется за альтернативные виды топлива. Определенные виды водорослей имеют способность преобразовывать двуокись углерода в углеводы, масла и другие клеточные компоненты, используя процесс фотосинтеза. В отличие от сои или кукурузы, водоросли необычайно плодовиты; их можно выращивать где угодно, как в соленой, так и в пресной воде. Кроме того, такого понятия, как «сезон сбора урожая» просто нет – водоросли можно выращивать круглый год.

### *1.5. Энергия биомассы океана*

В океане существует замечательная среда для поддержания жизни, в состав которой входят питательные вещества, соли и другие минералы. В этой среде растворенный в воде кислород питает всех морских животных: от самых маленьких до самых больших, от амёбы до акулы. Растворенный углекислый газ точно так же поддерживает жизнь всех морских растений от одноклеточных диатомовых водорослей до достигающих высоты 60-90 метров бурых водорослей. Морскому биологу нужно сделать лишь шаг вперед, чтобы перейти от восприятия океана как природной системы поддержания жизни к попытке начать на научной основе извлекать из этой системы энергию.

При поддержке военно-морского флота США в середине 70-х годов группа специалистов в области исследования океана, морских инженеров и водолазов создала первую в мире океанскую энергетическую ферму на глубине 12 метров в Тихом океане вблизи города Сан-Клемент. Ферма была небольшая, по сути своей, все это было лишь экспериментом. На ферме выращивались гигантские калифорнийские бурые водоросли. По мнению директора проекта доктора Говарда А. Уилкокса, сотрудника Центра исследования морских и океанских систем в Сан-Диего (Калифорния): «До 50 % энергии этих водорослей может быть превращено в топливо. Океанские фермы будущего, выращивающие бурые водоросли на площади примерно 100 000 акров (40 000 га), смогут давать энергию, которой хватит, чтобы полностью удовлетворить потребности американского города с населением в 50 000 человек» [7].

## 1.6. Гидроэнергетические ресурсы

Гидроэнергетические ресурсы на Земле оцениваются величиной 33 000 ТВт·ч/год, но по техническим и экономическим соображениям из всех запасов доступны от 4 до 25%. Общий гидропотенциал рек России исчисляется в 400 млн. МВт·ч (450 тыс. МВт среднегодовой установленной мощности), что составляет приблизительно 10-12% от мирового.

В отличие от невозобновляемой химической энергии, запасенной в органическом топливе, кинетическая энергия движущейся в реках воды возобновляемая – на гидроэлектростанциях (ГЭС) она превращается в электрическую энергию.

Свойство возобновляемости гидроэнергии является важным преимуществом ГЭС. К их преимуществам относятся также:

1. Небольшая стоимость эксплуатации и низкая себестоимость энергии, вырабатываемой на ГЭС;
2. Большая надежность работы, объясняемая отсутствием высоких температур и давлений в гидротурбинах и относительно невысокими скоростями вращения этих турбин и гидрогенераторов;
3. Высокая маневренность, определяемая небольшим временем, требующимся для включения в работу, набора нагрузки, а также остановка ГЭС (это время составляет всего несколько минут).

Строительство ГЭС во многих случаях решает также задачи снабжения водой городов, промышленности и сельского хозяйства (орошение).

Работа ГЭС в отличие от ТЭС кардинально не ухудшает санитарного состояния воздушной среды и качество воды в водоемах. Недостатками ГЭС являются их более высокая стоимость и большой срок строительства в сравнении с ТЭС, а также значительные территории, занимаемые водохранилищами. Однако эти недостатки обычно компенсируются преимуществами ГЭС.

В Мировом океане скрыты колоссальные запасы энергии. Так, тепловая (внутренняя) энергия, соответствующая перегреву поверхностных вод океана по сравнению с донными, скажем, на 20 градусов, имеет величину порядка  $10^{26}$  Дж. Кинетическая энергия океанских течений оценивается величиной порядка  $10^{18}$  Дж. Однако пока что люди умеют использовать лишь ничтожные доли этой энергии, да и то ценой больших и медленно окупающихся капиталовложений, так что такая энергетика до сих пор казалась малоперспективной.

Однако происходящее весьма быстрое истощение запасов ископаемых топлив (прежде всего нефти и газа), использование которых к тому же связано с существенным загрязнением окружающей среды (включая сюда также и тепловое "загрязнение", и грозящее климатическими последствиями повышение уровня атмосферной углекислоты), резкая ограниченность запасов

урана (энергетическое использование которых к тому же порождает опасные радиоактивные отходы) и неопределенность как сроков, так и экологических последствий промышленного использования термоядерной энергии заставляет ученых и инженеров уделять все большее внимание поискам возможностей рентабельной утилизации обширных и безвредных источников энергии и не только перепадов уровня воды в реках, но и солнечного тепла, ветра и энергии в Мировом океане.

Широкая общественность, да и многие специалисты еще не знают, что поисковые работы по извлечению энергии из морей и океанов приобрели в последние годы в ряде стран уже довольно большие масштабы и что их перспективы становятся все более обещающими. Океан таит в себе несколько различных видов энергии: энергию приливов и отливов, океанских течений, термальную энергию и др. [8].

### *1.7. Энергия приливов*

Наиболее очевидным способом использования океанской энергии представляется постройка приливных электростанций (ПЭС). С 1967 г. в устье реки Ранс во Франции на приливах высотой до 13 метров работает ПЭС мощностью 240 тыс. кВт с годовой отдачей 540 тыс. кВт·ч. Советский инженер Бернштейн разработал удобный способ постройки блоков ПЭС, буксируемых на плаву в нужные места, и рассчитал рентабельную процедуру включения ПЭС в энергосети в часы их максимальной нагрузки потребителями. Его идеи проверены на ПЭС, построенной в 1968 году в Кислой Губе около Мурманска; своей очереди ждет ПЭС на 6 млн. кВт в Мезенском заливе на Баренцевом море.

В 70-х годах ситуация в энергетике изменилась. Каждый раз, когда поставщики на Ближнем Востоке, в Африке и Южной Америке поднимали цены на нефть, энергия приливов становилась все более привлекательной, так как она успешно конкурировала в цене с ископаемыми видами топлива. Вскоре за этим в Советском Союзе, Южной Корее и Англии возрос интерес к очертаниям береговых линий и возможностям создания на них энергоустановок.

Бакены и маяки, использующие энергию волн, уже усеяли прибрежные воды Японии. В течение многих лет бакены - свистки береговой охраны США действуют благодаря волновым колебаниям. Сегодня вряд ли существует прибрежный район, где не было бы своего собственного изобретателя, работающего над созданием устройства, использующего энергию волн.

На рис. 1.15 представлена установка, которая позволяет использовать кинетическую энергию приливно-отливных течений непосредственно в потоке без специальных трудоемких и дорогостоящих сооружений.



Рис. 1.15. Автономная приливная турбина

Автономные приливные турбины генерируют электроэнергию за счет течения воды так же, как ветровые, использующие для этого потоки воздуха. Но поскольку плотность воды почти в 800 раз выше плотности воздуха, то для получения той же мощности подводным установкам требуется лишь одна десятая от скорости потока воздуха. Это обеспечивает гораздо меньшие габариты приливных агрегатов по сравнению с ветровыми установками той же мощности. Лопасти подводных турбин совершают всего около десяти оборотов в минуту, поэтому отсутствует негативное воздействие на окружающую среду.

### *1.8. Энергия океанических течений*

Не так давно группа ученых океанологов обратила внимание на тот факт, что Гольфстрим несет свои воды вблизи берегов Флориды со скоростью 5 миль в час. Идея использовать этот поток теплой воды была весьма заманчивой. Возможно ли это? Смогут ли гигантские турбины и подводные пропеллеры, напоминающие ветряные мельницы, генерировать электричество, извлекая энергию из течений и воли? "Смогут", - таково в 1974 году было заключение Комитета Мак-Артура, находящегося под эгидой Национального управления по исследованию океана и атмосферы в Майами (Флорида). Общее мнение заключалось в том, что имеют место определенные проблемы, но все они могут быть решены в случае выделения ассигнований, так как "в этом проекте нет ничего такого, что превышало бы возможности современной инженерной и технологической мысли".

Британская компания «Atlantis Resources Co.» создала подводную установку «AR1000» мощностью 1 МВт, использующую энергию течений и внешне напоминающую традиционную ветроэнергетическую установку (рис. 1.16). Энергоблок высотой 23 м и массой 1300 т устанавливается на дне на массивной раме и состоит из двух гидротурбин с диаметром рабочего колеса 18 м, каждая с тремя лопастями.



Рис. 1.16. Подводная турбина «AR1000»

### *1.9. Термальная энергия океана*

Большое внимание приобрела "океанотермическая энергоконверсия" (ОТЭК), т.е. получение электроэнергии за счет разности температур между поверхностными и засасываемыми насосом глубинными океанскими водами, например при использовании в замкнутом цикле турбины таких легкоиспаряющихся жидкостей как пропан, фреон или аммоний.

Температура воды океана в разных местах различна. Между тропиком Рака и тропиком Козерога поверхность воды нагревается  $27^{\circ}\text{C}$ . На глубине 600 метров температура падает до  $2-3,5^{\circ}\text{C}$ . Возникает вопрос: есть ли возможность использовать разницу температур для получения энергии?

Могла бы тепловая энергоустановка, плывущая под водой, производить электричество? Да, и это возможно. В 20-е годы нао XX века Жорж Клод, одаренный, решительный и весьма настойчивый французский физик, решил исследовать такую возможность. Выбрав участок океана вблизи берегов Кубы, он сумел-таки после серии неудачных попыток получить установку мощностью 22 кВт. Это явилось большим научным достижением и приветствовалось многими учеными.

Используя теплую воду на поверхности и холодную на глубине и создав соответствующую технологию, мы располагаем всем необходимым для производства электроэнергии, уверяли сторонники использования тепловой энергии океана. "Согласно нашим оценкам, в этих поверхностных водах имеются запасы энергии, которые в 10 000 раз превышают общемировую



потребность в ней". "Увы, - возражали скептики, - Жорж Клод получил в заливе Матансас всего 22 кВт электроэнергии. Дало ли это прибыль?" Не дало, так как, чтобы получить эти 22 кВт, Клоду пришлось затратить 80 кВт на работу своих насосов.

### **ЗАДАЧИ** **Энергия волн**

1. Найдите мощность волн, если известно, что период составляет 6 с, амплитуда равна 2 м.
2. Какой будет радиус круговой орбиты, если известно, что амплитуда составляет  $a$  м, период  $T = 10$  с, положение частицы  $z = -3; -2; -1; 0; 1; 2; 3$  м. Построить график зависимости радиуса круговой орбиты  $r$  от положения частицы  $z$  и диаграмму.

### **Энергия приливов. Усиление приливов**

1. Определить скорость распространения приливной волны, если известно, что глубина моря составляет 100 м.
2. Постройте зависимость скорости распространения приливной волны  $c$ , м/с, от глубины моря  $h = 100; 200; 300; 400; 500; 800; 1000$  м.
3. Установите, следует ли ожидать резонанса в заливе, если его протяженность составляет  $L = 1,5$  км, длина приливной волны  $X = 2000$  м, глубина  $h = 200$  м?

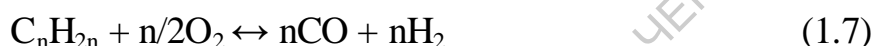
### **Тепловая энергия океана. ОТЭС**

1. Определить расход воды  $L$ , м<sup>3</sup>/с, для разности температур  $A_T$ , К, чтобы получить от идеальной тепловой машины мощность 1 МВт при  $T_2 = 300$  К.
2. Определить механическую мощность преобразователя тепловой энергии океана, если известно, что температура поверхностных слоев воды  $t_r = 27^\circ\text{C}$ , глубинных слоев -  $t_x = 15^\circ\text{C}$ , расход воды составил  $G = 1$  т/час.
3. Определить максимально возможную мощность, которую можно получить в системе ОТЭС при  $t_r = 30^\circ\text{C}$ ,  $t_x = 11^\circ\text{C}$ ,  $G = 5$  т/час.

### 1.10. Способы получения синтез-газа

Синтез-газ - смесь газов, главными компонентами которой являются CO и H<sub>2</sub>; используется для синтеза разных химических соединений. Термин "синтез-газ" исторически связан с синтезом Фишера-Тропша (1923), когда исходный для него газ получали газификацией кокса или полукокса. В 60-80-х гг. сырьевая база и структура использования синтез-газа изменились. В настоящее время синтез-газ производят конверсией природного газа либо нефтепродуктов, и лишь в небольших масштабах химической переработкой древесины, а также газификацией углей.

Парциальное окисление тяжелого мазута (процесс газификации «Shell») осуществляют по реакции:



Газификацию угля (процесс «Shell – Koppers») - по реакции [2]:

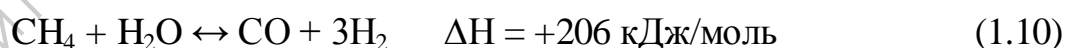


Эта реакция является эндотермической, равновесие сдвигается вправо при температурах 900-1000<sup>0</sup>С. Разработаны технологические процессы, использующие парокислородное дутье, при котором наряду с упомянутой реакцией протекает экзотермическая реакция сгорания угля, обеспечивающая нужный тепловой баланс:

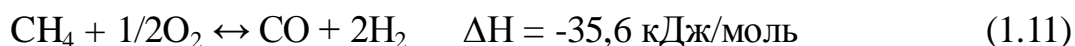


В настоящее время основным промышленным методом получения синтез-газа является конверсия метана. Существует три метода конверсии метана в синтез-газ:

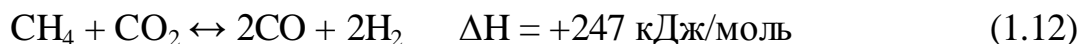
- паровая конверсия (ПКМ):



- парциальное окисление кислородом (ПО):



- углекислотная конверсия (УКМ):



Традиционным методом для промышленности является ПКМ. Процесс

имеет два существенных недостатка: высокое содержание водорода в синтез-газе (состав получаемой смеси близок к равновесному), что затрудняет его использование, например, в синтезе углеводородов и метанола, и большие энергозатраты на перегрев воды.

Другой важный технологический аспект связан с протеканием побочных реакций образования углерода, которые могут иметь место при подаче недостаточного количества водяного пара в установку риформинга. Коксообразование первоначально дезактивирует катализатор (никелевый), затем вызывает разрушение его гранул, что в свою очередь приводит к частичной или полной блокировке реакционного потока в слое катализатора, который заполняет трубное пространство. В результате возникают участки локального перегрева.

Эти обстоятельства стимулируют создание катализаторов и разработку процессов, сочетающих ПКМ, УКМ и ПО. Одним из наиболее распространенных в промышленности комбинированных процессов является автотермический риформинг метана (АТР), сочетающий в себе парциальное окисление и паровую конверсию. Преимущество данной технологии заключается в компенсации тепловых эффектов реакций (2.10) и (2.11), а также в возможности получения синтез-газа с мольным отношением  $H_2/CO$ , близким к 2, что удовлетворяет требованию процесса Фишера-Тропша на кобальтовых катализаторах.

Перспективным направлением конверсии метана является двухстадийный процесс - «глубокое окисление  $CH_4$  + некаталитическая углекислотная конверсия», в котором реализуется автотермичность процесса за счет комбинированного подхода, где экзотермическая стадия полного окисления метана сочетается с эндотермической стадией углекислотной конверсии.

На основе реакции (1.11) парциального окисления кислородом фирмой «Shell» был разработан технологический процесс в некаталитическом варианте при очень высоких температурах (1100-1300 °С), реализованный на небольшом заводе в Малайзии. Данный процесс дает синтез-газ с соотношением  $CO:H_2 = 1,7-1,8 : 1$ . Часть углерода также теряется в виде сажи. Каталитическое окисление протекает при меньших температурах на Ni-катализаторах и дает в идеале соотношение  $CO:H_2 = 1:2$ . Однако на практике реакционная смесь близка по составу к равновесной. Это связано с протеканием побочных реакций.

Кроме того при использовании в ПО чистого кислорода требуется сооружение станций низкотемпературного разделения воздуха, затраты на получение кислорода составляют около 40% от стоимости всего завода производства синтез-газа, к тому же работа с чистым кислородом повышает риск взрывоопасных ситуаций. Использование воздуха в качестве окислителя означает высокие производственные затраты на компримирование и нагрев балластного азота. Тем не менее, подобные проекты прорабатываются.

Реакция (1.12) пока находится в стадии исследования на уровне лабораторных и пилотных испытаний. Получаемый газ состава  $CO:H_2 = 1:1$

может быть использован для промышленного получения диметилового эфира.

### Принципиальная схема парокислородной конверсии метана

Из различных технологических схем производства синтез-газа наиболее распространенной стала каталитическая парокислородная конверсия метана (автотермический риформинг) с добавлением оксида углерода (IV), который вводится в процесс для смещения равновесия реакции (2.12) и повышения выхода оксида углерода (II). Для этой цели используется оксид углерода (IV), выделяющийся из раствора этаноламина в регенераторе абсорбента.

Технологическая схема подобного процесса, включая стадию удаления оксида углерода (IV) из конвертированного газа представлена на рисунке 1.17.

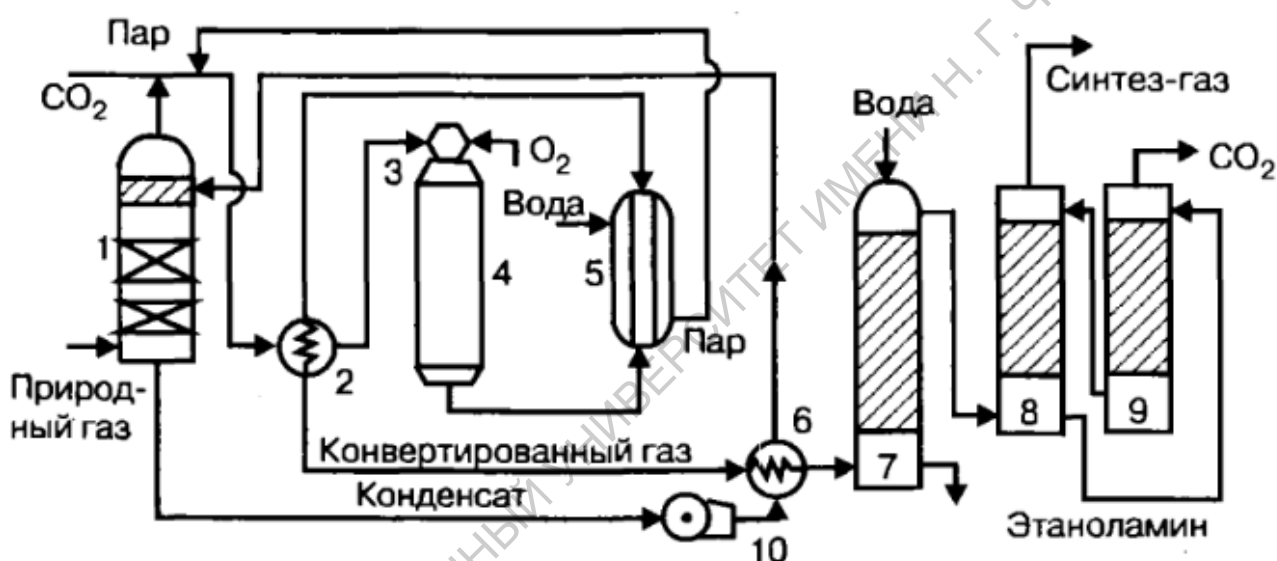


Рис. 1. 17. Технологическая схема парокислородной конверсии метана: где 1 — сатуратор; 2,6 — теплообменники; 3 — смеситель; 4 — конвертор шахтного типа; 5 — котел-утилизатор; 7 — скруббер; 8 — абсорбер оксида углерода (IV); 9 — регенератор этаноламина; 10 — циркуляционный насос.

Природный газ под давлением 0.2 МПа подается в сатуратор 1, где насыщается парами воды горячего конденсата, поступающего из теплообменника 6. На выходе из сатуратора парогазовая смесь смешивается дополнительно с водяным паром и оксидом углерода (IV) до соотношения  $\text{CO}_2:\text{H}_2\text{O}:\text{CH}_4 = 2:9:10$  и поступает в теплообменник 2, обогреваемый продуктами конверсии. Нагретая до  $600^\circ\text{C}$  парогазовая смесь подается в смеситель 3, где смешивается с кислородом и затем направляется в конвертер метана 4. Таким образом, в этой схеме конверсия паром и кислородом осуществляется в одном реакторе (одноступенчатая конверсия). Конвертированный газ проходит котел-утилизатор и при температуре  $650\text{--}680^\circ\text{C}$  поступает в теплообменник 2, где охлаждается до  $200^\circ\text{C}$  поступающей в теплообменник из сатуратора 1 парогазовой смесью. Вырабатываемый в котле-

утилизаторе пар подается в сатуратор. Охлажденный конвертированный газ направляется в теплообменник 6, в котором подогревает конденсат, циркулирующий с помощью насоса 10 через теплообменник и сатуратор. Окончательно газ охлаждается до  $40^{\circ}\text{C}$  в скруббере 7, орошаемом водой. Соотношение компонентов в конвертированном газе не отвечает стехиометрическому для синтез-газа, так как он содержит значительное количество оксида углерода (IV). Поэтому он направляется в абсорбер 8, где из газа извлекают большую часть оксида углерода (IV) раствором этаноламина, который затем регенерируется в регенераторе 9. Выделяющийся при регенерации оксид углерода (IV) направляется на смешение с природным газом в сатуратор 1.

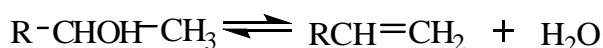
## РАЗДЕЛ 2. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

### Практическая работа № 1

#### Дегидратация спирта

Существует два вида реакций дегидратации спиртов – внутримолекулярная и межмолекулярная.

Внутримолекулярная дегидратация спиртов приводит к образованию ненасыщенных углеводородов:



Реакция является обратимой и эндотермической ( $\Delta H = 46 \text{ кДж}$ ), но при температуре  $150^\circ - 300^\circ\text{C}$  равновесие практически смещено в сторону образования олефина.

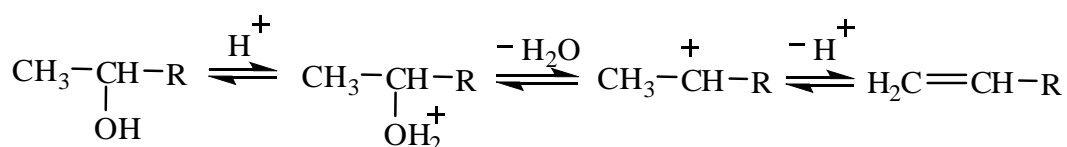
Межмолекулярная дегидратация спиртов:



Реакция приводит к образованию простых эфиров. Равновесие её смещается вправо при понижении температуры. При  $200^\circ - 400^\circ\text{C}$  внутри- и межмолекулярная дегидратации конкурируют друг с другом. Изменяя давление в системе можно регулировать направление этих реакций. Снижение давления в системе благоприятствует образованию олефина. На реакцию образования простого эфира давление не влияет (реакция идет без изменения числа молей).

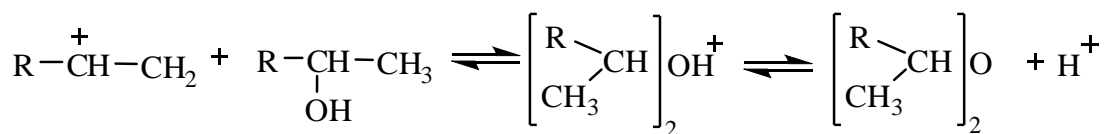
Реакции дегидратации относятся к кислотно-основным, протекающим по карбоний-ионному механизму на кислотных катализаторах. Типичными катализаторами являются сильные протонные кислоты: серная, фосфорная, муравьиная, щавелевая, сульфокислоты, а также апротонные, или кислоты Льюиса: оксид алюминия, фосфаты, сульфаты, природные глины, алюмосиликаты, цеолиты.

Механизм внутримолекулярной дегидратации представляется следующим образом:



При межмолекулярной дегидратации ион карбония не отщепляет протон, а взаимодействует с другой молекулой спирта:

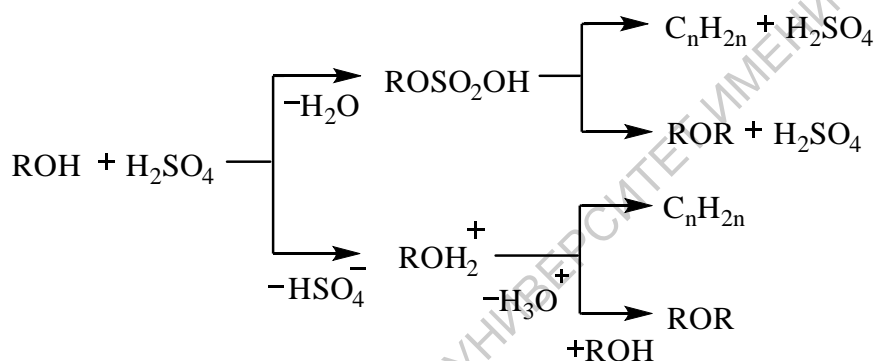




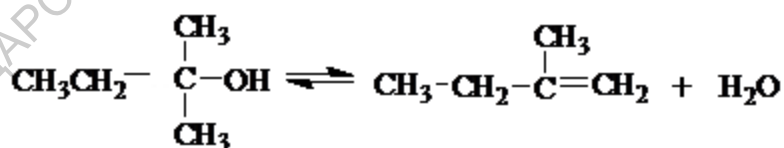
Процесс дегидратации спиртов может осуществляться в жидкой и паровой фазах. В жидкой фазе процесс проводят при 100°-160°С в присутствии жидких кислот – серной, муравьиной и др. Образующиеся при этом олефины непрерывно отгоняют, благодаря чему реакция осуществляется практически необратимо. Из низших спиртов при повышении температуры и снижении концентрации свободного спирта преимущественно получают олефин, а при понижении температуры и увеличении концентрации спирта – простой эфир.

Скорость реакции дегидратации растет с увеличением кислотности среды.

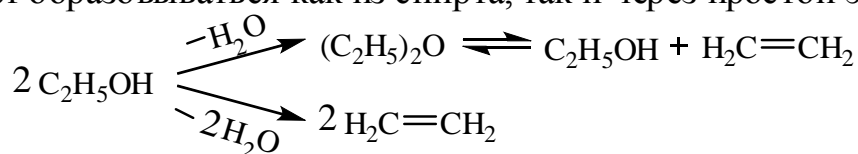
При сернокислотной дегидратации спиртов часть продуктов получается через промежуточное образование алкилсульфатов:



Наиболее легко дегидратируются третичные спирты. Реакция протекает количественно при нагревании третичного спирта со щавелевой или муравьиной кислотами, бисульфатом калия и др.:



Парофазную дегидратацию осуществляют в присутствии твердых катализаторов – каолина, глины, алюмосиликатов, фосфатов и сульфатов и др. при температуре 250°-400°С. При дегидратации низших спиртов могут быть получены одновременно олефины и простые эфиры. Так при дегидратации этилового спирта протекают параллельно две конкурирующие реакции, причем олефин может образовываться как из спирта, так и через простой эфир:

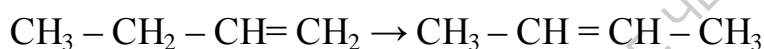


Селективность процесса по олефину зависит от природы катализатора, температуры, давления и глубины превращения спирта. Селективность образования  $C_2H_4$  увеличивается с глубиной конверсии спирта. Повышение температуры и снижение парциального давления спирта в системе способствует образованию этилена.

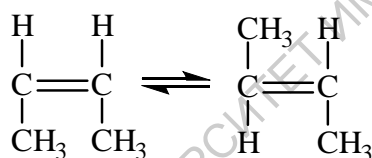
При парофазной дегидратации высших спиртов, начиная с  $C_3$  и  $C_4$ , образуются только олефины, но реакция осложняется протеканием побочных реакций – изомеризации, полимеризации и крекинга, которые приводят к получению смеси продуктов.

Например, при дегидратации н-бутанола возможны три типа реакций изомеризации:

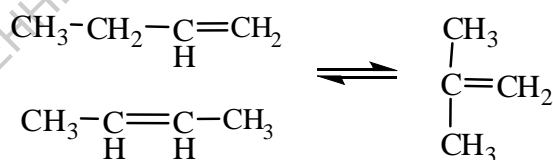
1. Перемещение двойной связи в линейной цепи  $\alpha, \beta$  – изомеризация:



2. Цис-транс-изомеризация 2-бутена:



3. Скелетная изомеризация н-бутенов в изобутен:



Глубина побочных реакций зависит от условий процесса и природы катализатора, т.е. от числа и силы его кислотных центров.

Среди катализаторов дегидратации спиртов наибольшее распространение получила активная окись алюминия или  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

Дегидратация спиртов на  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  наиболее простой и удобный способ получения олефинов.

**Цель работы:** провести каталитическую дегидратацию спирта (спирт выбирается по указанию преподавателя) при различных температурах (от  $250^\circ$  до  $450^\circ\text{C}$ ) и объемной скорости  $2 \text{ час}^{-1}$  и выяснить влияние температуры на глубину дегидратации спирта и степень изомеризации образующихся олефинов.

Исследование каталитической дегидратации спирта проводится на лабораторной установке рис. 2.1.

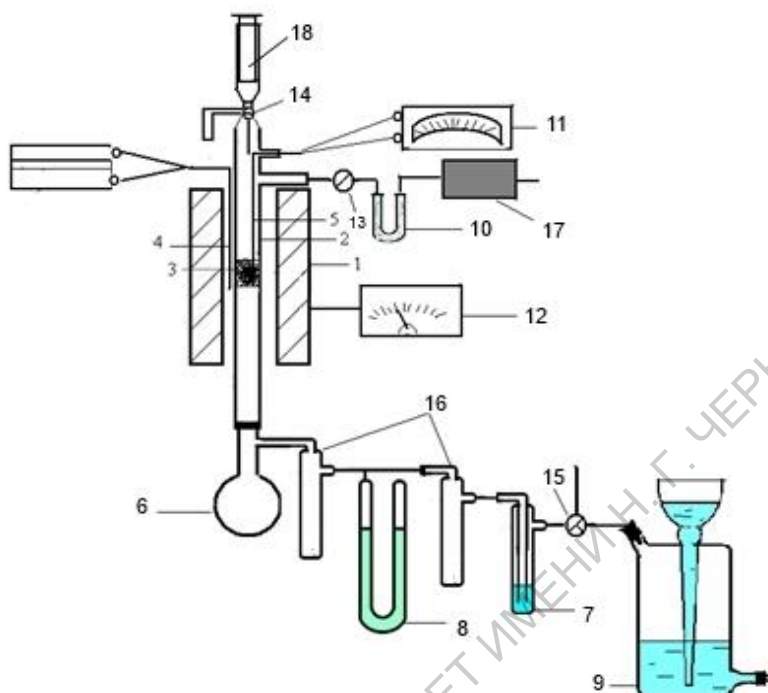


Рис. 2.1. Лабораторная установка проточного типа

где 1 – печь; 2 – реактор; 3 – катализатор; 4, 5 – термопары; 6 – приемник; 7 – барботер; 8 – манометр; 9 – газометр; 10 – осушительная колонка; 11 – гальванометр; 12 – латр; 13-15 – краны; 16 – ловушки, 17 – компрессор, 18 – ёмкость с реагентом.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Проверка на герметичность.
2. Активация катализатора при  $500^{\circ}\text{C}$  в токе воздуха до полного испарения воды в нижнем отводе реактора.
3. Установление заданной температуры в реакторе при непрерывном пропускании воздуха и выдержка её при постоянном показании ЛАТРа в течение 20-30 мин.
4. После достижения заданной температуры в капельницу наливают спирт, герметично соединяют верх с установкой и выключают воздух. Далее начинают осторожную подачу спирта по каплям в реактор. Устанавливают заданную скорость подачи. Первые порции газа отводят в выбросную линию для продувки установки. Ввиду эндотермичности реакции температура реакционной зоны может снизиться. Во избежание этого после 5-10 мин пропускания спирта увеличивают нагрев. На продувку установки затрачивают 20-30 мл сырья. Затем начинают опыт.
5. Сливают конденсат из приемника в пузырек с пробкой. Закрывают выбросную линию, продувают шланг от манометра, присоединяют

газомер, записывают показание капельницы, пускают секундомер и начинают отбор газа в газометр или газовую пипетку.

Продолжительность опыта 10-30 мин. По окончании опыта прекращают подачу спирта, выключают печь, отключают газометр или пипетку, соединяют установку с выбросной линией, сливают конденсат в предварительно взвешенный пузырек, записывают комнатную температуру и давление. Затем в реактор осторожно начинают подавать воздух для продувки, наблюдая за движением стрелки гальванометра. Ввиду возможности загорания паров спирта в реакторе при резком повышении температуры воздух отключают, дают охладиться реактору и затем снова подают воздух, наблюдая за температурой.

### Расчет показателей процесса

Полученный газообразный продукт анализируется на хроматографе «Кристалл 2000». Расчет газовой хроматограммы проводят по методике, описанной в практической работе №1 данного пособия.

### Расчет материального баланса

$$A = B + C + D,$$

где А - масса пропущенного спирта (г), рассчитывается по измеренному объему V и плотности  $\rho_4^{20}$ , взятой из справочника:  $A = V \cdot \rho_4^{20}$ ; В – масса конденсата, (г); С – масса полученного газа (г), рассчитывается по объему газа  $V_0$ , приведенному к нормальным условиям, и весу литра газа  $P_0$ :

$$V_0 = \frac{vt}{K}; \quad C = V_0 \cdot P_0$$

где К – поправочный коэффициент;

Д – потери, рассчитываются в граммах и масс. %.

### Выход олефинов на пропущенное сырье

$$\alpha = \frac{C}{A} \cdot 100\% \text{ мас.}$$

### Глубина дегидратации спирта.

По уравнению реакции  $C_nH_{2n+1}OH \leftrightarrow C_nH_{2n} + H_2O$  исходя из массы пропущенного спирта А рассчитывают теоретически возможный выход олефина X.

$$M_{ROH} - 1 \text{ моль } C_nH_{2n} (\text{т.е. } 22,4 \text{ л})$$

A - X

$$X = \frac{A \cdot 22,4}{M_{\text{ROH}}}$$

где  $M_{\text{ROH}}$  – молекулярная масса спирта, г/моль.

**Степень дегидратации:**

$$\alpha = \frac{V_0}{X} \cdot 100\%$$

Глубин  $\alpha \rightarrow \beta$  изомеризации (т.е. миграции двойной связи в линейной цепи алкена)  $\alpha_i$  определяют по соотношению концентрации образующихся изомеров, приняв за единицу концентрацию теоретически возможного олефина.

Для характеристики глубины цис-транс-изомеризации рассчитывают также соотношение между концентрациями транс- и цис.

## Практическая работа № 2

### Получение синтез-газа из углеводородных смесей

Основной компонент природного газа – метан термодинамически весьма стабилен и устойчив к действию большинства реагентов. Энергия связи С-Н в молекуле  $\text{CH}_4$  составляет 439 кДж/моль. Прямые синтезы на основе метана затруднены, поскольку продукты более лабильны, чем сам метан, и легко подвергаются дальнейшему полному окислению. Поэтому промышленная переработка природного газа в жидкие углеводороды включает в себя промежуточную стадию окисления метана в синтез-газ (смесь  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ ). Продукт окисления метана  $\text{CO}$  гораздо более реакционноспособен и может быть превращен в различные соединения в присутствии подходящих катализаторов.

**Целью работы** является проведение процесса окисления углеводородной смеси с получением альтернативного синтетического моторного топлива (синтез-газ).

Исследование процесса окисления метана воздухом проводится на лабораторной установке. Схема лабораторной установки представлена на рисунке 2.2.

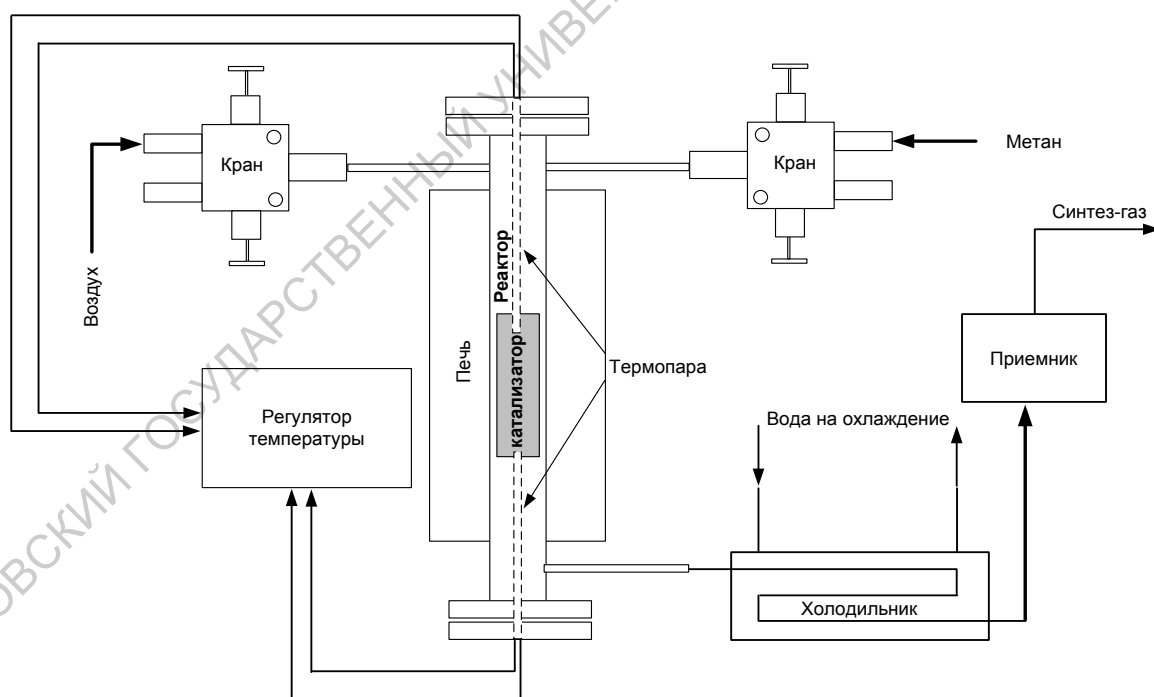


Рис. 2.2. Принципиальная схема лабораторной установки по получению синтез-газа

В реактор со стационарным слоем катализатора смесь подается двумя



потоками. Первый поток – углеводородная смесь, второй поток – воздух. На выходе из реактора установлен холодильник и приемник для образующейся в результате побочных реакций воды. Температура в реакторе измеряется с помощью термопары.

Отработка методики проведения процесса проводится на слое кварца без катализатора. Отбор проб смеси на выходе из реактора производится при 550°, 600°, 650°, 700°, 750°С. Состав смеси на входе и выходе из реактора определяется на хроматографе «Кристалл-2000» с детектором по теплопроводности — катарометром. Газ-носитель – гелий. Для анализа H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> применяется колонка – J<sub>2</sub>/уголь, для анализа O<sub>2</sub> – колонка с СаА.

Процесс превращения углеводородной смеси проводят на катализаторе (использование того или иного катализатора зависит от состава реакционной смеси). Катализаторы готовятся по разным методикам (последовательная пропитка, нанесением, сплавлением и т.д.).

**Параметры процесса:** рабочая температура 700° — 850°С; давление атмосферное; скорость подачи сырья от 1,26 до 5,54 л/ч.

## Темы рефератов

1. Состояния и перспективы развития ядерной энергетики в России и мире.
2. Состояния и перспективы развития ветровой энергетики в России и мире.
3. Состояния и перспективы развития солнечной энергии (прямое и не прямое использование энергии).
4. Состояния и перспективы развития лунной энергетики (приливы-отливы, волны, течения).
5. Гидроэнергетика в России и мире.
6. Экологические проблемы энергетики.
7. Проблемы аккумулирования (запасания) энергии.
8. Биомасса как возобновляемый источник энергии.
9. Водородная энергетика.
10. Калорийность пищи и внутренняя энергия человека.
11. Фотоэлементы – преобразователи солнечной энергии.
12. Проблемы производства и потребления энергии.
13. Проблемы транспортировки энергии и энергоносителей.
14. Проблемы энергосбережения.
15. Энергетический менеджмент.
16. Энергетический аудит предприятия.
17. Получение энергии путем ядерного деления.
18. Получение энергии путем термоядерного синтеза (энергия звезд).
19. Проблемы создания водородной бомбы.
20. Проблемы развития ядерного вооружения.
21. Энергетические проблемы России.
22. Энергетические проблемы г. Саратова.
23. Энергетические проблемы Саратовской области.
24. Ветряные двигатели.
25. «Водородное дерево».
26. Энергетика и нанотехнология.
27. Обобщенные факторы и проблемы обеспечения энергетической безопасности страны.
28. Новые предложения по решению энергетических проблем общества.
29. Проблема повышения КПД солнечных элементов.
30. Сравнительный анализ теплотворной способности известных видов твердого, жидкого и газообразного топлива (табл., выводы).
31. Экологические проблемы ядерной энергетики.
32. Анализ развития различных видов традиционной и нетрадиционной энергетики в период 2006 – 2025 гг.
33. Проблемы общества на стадии потребления энергии.
34. «Парниковый эффект» и способы снижения его негативного воздействия.
35. Озоновый слой Земли. Проблемы химического равновесия в озоновом слое.

36. Роль углерод – азот - кислородного цикла (протон-протонной реакции) в ядерной энергетике.
37. Основы и проблемы термоядерного синтеза.
38. Урановый и ториевый цикл. Проблемы и перспективы.
39. Анализ причин отражения солнечных лучей от поверхности Земли и проблем увеличения энергии солнечного излучения.
40. Проблемы использования человеком энергии вулканов.
41. Проблемы применения энергетических установок, основанных на получении термоэлектрической энергии за счет разности температур теплоисточника и теплоприемника.
42. Проблемы общества по использованию тепла недр Земли.
43. Проблемы применения иловых осадков городских коммунальных сточных вод (ОСВ) в энергетике (на примере утилизации осадка в г. Санкт-Петербурге).
44. Проблемы применения твердых бытовых отходов (ТБО) в производстве энергии.
45. Проблемы влажности и зольности органического и органоминерального топлива в традиционной энергетике.
46. Электрохимическая энергетика: традиционные и новые направления.
47. Принципиально новые энергоисточники и проблемы их применения обществом.
48. Топливо для 4-х тактных двигателей внутреннего сгорания. Октановое число.
49. Ракетное топливо и проблемы его использования в энергетике.
50. Теплые и холодные океанические течения на службе общества.
51. Экологические последствия применения ядерного оружия.
52. Исследование возможности концентрации энергии СВЧ – излучения звезд земными приёмниками.
53. Взаимосвязь уровня жизни потребления и сбережения энергии в различных странах мира.
54. Биофотолиз в энергетике.
55. Пути повышения КПД в различных видах энергетике.
56. Топливные элементы. Проблемы применения в энергетике.
57. Проблемы общества в освоении энергетике звезд главной последовательности (рождение, спокойная фаза генерирования энергии, взрыв и анигиляция).
58. Вторичные энергоресурсы и проблемы их использования.

## Список литературы

1. Да Роза. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учебное пособие/ А. да Роза; пер. с англ. ПОД редакцией ел. Малышенко, О.С. Попеля. - Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект»; М.: Издательский дом МЭИ; 2010. - 704 с.
2. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики: учебник / Г.Ф. Быстрицкий. – 3-е изд., М.: КНОРУС, 2012. - 352с.
3. Денк С.О. Возобновляемые источники энергии. На берегу энергетического океана/ С. О. Денк. - Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 285 с.
4. Е.П. Велихов, А.Ю. Гагаринский, С.А. Субботин, В.Ф. Цибульский. Эволюция энергетики в XXI веке. Москва, ИздАт, 2008, 160 с.
5. Соренсен, Бент. Преобразование, передача и аккумуляция энергии: учебно-справочное руководство / Б. Соренсен; пер. с англ. под ред. А. Д. Калашникова. - Долгопрудный: Издательский дом "Интеллект", 2011. – 295с.
6. Лapidус А.Л., Крылов И.Ф., Жагфаров Ф.Г., Емельянов В.Е. Альтернативные моторные топлива. – М.: Центрлитнефтегаз, 2008. – 288 с.
7. Сибикин Ю.Д. Технология энергосбережения: Учебник / Юрий Дмитриевич Сибикин, Михаил Юрьевич Сибикин. - 2, перераб. и доп. - Москва : Издательство "ФОРУМ", 2010. - 352 с.
8. Ляшков В.И., Кузьмин С.Н. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. – 96 с.

Ромаденкина С.Б., Аниськова Т.В., Кузьмина Р.И.

## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Учебное пособие  
для студентов, обучающихся по направлению  
18.03.01 – Химическая технология (бакалавр) и  
18.04.01 – Химическая технология (магистр)

Подписано в печать                      Формат 60х84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать трафаретная.  
Объем              ус.печ.л. Тираж 50 экз. Заказ

---

Типография ЦВП «Саратовский источник»  
Г. Саратов, ул. Кутякова 138 «Б», 3 эт.  
Т. 52-05-93  
Издательство «Саратовский источник»