

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»
Институт гражданской защиты

Нетрадиционные возобновляемые источники энергии

Учебное пособие

«Невозможное сегодня
станет возможным завтра»

Циолковский

Ижевск
2013

УДК
ББК
Н

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ

Рецензент: Директор института гражданской защиты

д.т.н. В.М. Колодкин

Составитель: доктор технических наук В.Д. Плыкин

Н 00 Нетрадиционные возобновляемые источники энергии:

Учеб пособие / сост. В.Д. Плыкин. / Ижевск:

Изд-во «Удмуртский университет », 2013. 172 с.

Учебное пособие предназначено для формирования у студентов нового инженерного мышления Со-творца с Природой. В пособии рассмотрены нетрадиционные возобновляемые источники энергии, которые по принципам построения и по эффективности близки к природным энергетическим процессам. Пособие построено так, что для студента доводится, что его разработки, как будущего инженера, Со-творца с Природой, должны быть органичным продолжением естественных процессов Природы, не создающих отходов, не вызывающих экологического возмущения окружающей среды и не нарушающих гармонии, изначально заложенной в Природу. Пособие предназначено для студентов бакалавриата и магистратуры в направлении подготовки «Инженерная защита окружающей среды».

УДК
ББК

© Сост. В.Д. Плыкин, 2013

© Издательство «Удмуртский университет», 2013

Содержание

Предисловие	7
Введение	8
Вопросы для самоконтроля.....	10
Глава 1. Нетрадиционное использование солнечной энергии..	11
1.1 Солнечная труба.....	11
1.2 Орбитальные солнечные электростанции	14
1.2.1 Преобразование энергии солнечного излучения в электрическую энергию постоянного тока.....	16
1.2.2 Передача энергии с орбиты на Землю.....	16
1.2.3 Антенна.....	17
1.2.4 Ректенна	18
1.2.5 Пространственная ориентация ОСЭ и управление ее положением на орбите.....	18
1.2.6 Доставка узлов и материалов на орбиту и их монтаж..	19
1.2.7 Перспективы создания ОСЭ	19
Вопросы для самоконтроля.....	21
Глава 2. Солнечно-водородная энергетика	22
2.1 Топливо из света, воды и воздуха.....	22
2.2 Фотокаталитические процессы.....	23
2.3 Промышленные методы производства водорода.....	25
2.4 Схема электролиза воды электрическим током, вырабатываемым путем прямого преобразования солнечного излучения.....	27
2.5 Схема электролиза воды электрическим током, вырабатываемым тепловой солнечной станцией.....	28
2.6 Схема получения и преобразования энергии в системе ветроводородной электростанции	29
2.7 Схема получения водорода электролизом воды за счет геотермальной энергии.....	30
2.8 Хранение и использование водорода	31

2.9 Состояние и проблемы развития водородной энергетики.....	32
Вопросы для самоконтроля.....	34
 Глава 3. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения.....	35
3.1 Схема теплового насоса.....	37
3.2 Схема теплонасосной установки теплоснабжения с горизонтальным коллектором.....	40
3.3 Теплонасосные системы теплоснабжения с грунтовыми теплообменниками в вертикальных скважинах.....	41
3.4 Эколого-экономические аспекты использования тепловых насосов.....	44
Вопросы для самоконтроля.....	45
 Глава 4. Использование термоэлектрической энергии.....	46
4.1 Физические основы термоэлектричества.....	46
4.2 Теплопроводность твердых тел.....	47
4.3 Эффект Зеебека.....	47
4.4 Эффект Пельтье.....	50
4.5 Эффект Томсона.....	51
4.6 Закон Видемана – Франца – Лоренца.....	53
4.7 Анализ экспериментов.....	56
4.8 Термоэлектрический генератор.....	62
4.9 Расчет термоэлектрического генератора.....	65
4.10 Сферы применения термоэлектрических генераторов.....	68
4.11 Термоэлектрические генераторы компании ASEA Brown Boveri.....	69
Вопросы для самоконтроля.....	71
 Глава 5. Топливные элементы.....	72
5.1 Введение.....	72
5.2 Концепция топливных элементов.....	73
5.3 Электрохимические процессы в топливных элементах.....	74

5.4 Классификация топливных элементов.....	78
5.5 Агрегатное состояние электролита	79
5.6 Тип топлива	80
5.7 Реакции, протекающие в топливном элементе	80
5.8 Принцип действия ТЭ.....	83
5.9 Типовая конструкция топливных элементов.....	85
5.10 Применение топливных элементов	86
5.10.1 Стационарные энергетические установки на топливных элементах	87
5.10.2 Мобильные энергетические установки на топливных элементах	88
5.10.3 Другие области применения топливных элементов	90
Вопросы для самоконтроля.....	91
 Глава 6. Энергия биомассы	92
6.1 Введение	92
6.2 Состав биомассы.....	92
6.3 Использование биомассы.....	93
6.4 Технологии использования энергии биомассы	96
6.4.1 Прямое сжигание	96
6.4.2 Газификация биомассы.....	97
6.4.3 Физико-технические технологии переработки биомассы	98
Вопросы для самоконтроля.....	107
 Глава 7. Энергетические биотехнологии	108
7.1 Производство этанола.....	108
7.2 Ферментация.....	112
7.3 Анаэробное сбраживание.....	114
Вопросы для самоконтроля.....	122
 Глава 8. Выращивание биоэнергетического сырья	123
8.1 Лесные энергетические плантации	124
8.2 Выращивание сахароносных и масличных культур	125

8.3 Топливное рисосеяние.....	126
8.4 Источник биогенного водорода.....	126
8.5 Биоэнергетическая аквакультура.....	127
8.5.1 Бурые водоросли	130
8.5.2 Морские травы	132
Вопросы для самоконтроля.....	134
Глава 9. Фотосинтез, как принципиальная основа будущих энергетических технологий	135
Вопросы для самоконтроля.....	148
Глава 10. Получение водорода биохимическим разложением воды	149
Вопросы для самоконтроля.....	150
Глава 11. Гидроэлектростанции без плотин.....	151
Заключение	161
Список использованной литературы.....	171

Предисловие.

Предлагаемое учебное пособие рассчитано на изучение курса «Возобновляемые источники энергии» по направлению подготовки «Инженерная защита окружающей среды».

Актуальность учебного пособия в его направленности на формирование у студентов инженерного мышления Со-творца с Природой, а не разрушителя Природы, создаваемой им техникой и технологиями.

Отличие данного учебного пособия от аналогичных и его оригинальность в рассмотрении нетрадиционных возобновляемых источников энергии, которые по принципам построения и по эффективности близки к природной энергетике.

Цель учебного пособия - сформировать у студентов принципы нового инженерного мышления XXI века. Студенту дается концепция, согласно которой его разработки как будущего инженера должны быть органичным продолжением естественных процессов Природы.

Учебное пособие построено так, чтобы в результате его изучения студент получил необходимые знания и в дальнейшем мог самостоятельно работать со специальной литературой, разбираться в действующих устройствах нетрадиционных возобновляемых источников энергии и мог использовать эти знания в самостоятельной инженерной деятельности.

Учебное пособие предназначено для обучения студентов бакалавриата и магистратуры.

Введение

Способ существования современного человечества – непримиримая борьба с Природой. Это обосновано работами ученых [1-5]. Чем выше поднимается человечество в своем технократическом развитии, тем ожесточеннее эта борьба, несмотря на все наши современные крики об экологии, об охране окружающей среды, о спасении Природы. Эта борьба заложена в современное человечество генетически, начиная с Евклидовой геометрии, которая является основой нашего существования, на которой базируется наше инженерное мышление, которая сформировала наше плоскопараллельное сознание.

Новое представление о мироустройстве данное в работах ученых [1-5] говорит о том, что основой Вселенной являются вихревые информационно-энергетические потоки, спиралевидные энергетические структуры, вихревое и спиралевидное движение материальных образований. Во Вселенной нет прямых линий, нет правильных окружностей, нет изолированных точек, нет параллельных прямых, нет углов, нет прямоугольников, параллелепипедов и цилиндров. То есть нет всего того, на чем основан интеллект современного человека, на чем базируется современная наука, что является конструктивной основой нашей техники и технологий, производственных процессов, предприятий и жилых домов. Всего этого нет во Вселенной, нет в Природе Земли. Но Евклидова геометрия положена в основу материального мира, создаваемого человеком. Человек мыслит категориями этого плоскопараллельного материального мира. Поэтому современный человек называет себя материалистом, современная наука называет себя – материалистической, а современная система мышления – материализмом. Все, что выходит за пределы материализма, сегодня относят к идеализму, фанатизму, шизофрении, шаманизму и т.д. Материалистическое сознание человека сформировало способ существования человечества, в котором человек вне Природы, над Природой, в бесконечной борьбе с Природой. Материалисты внедряют в сознание человека и прочно закрепляют сфор-

мулированное Н.И. Бухариным представление о том, что только в процессе долгой и суровой борьбы с Природой человек сможет наложить на нее свою железную узду.

«Железная узда» Бухарина сегодня реализуется во всех направлениях борьбы с Природой. В этой борьбе мы вытесняем из жизни человека биосферу, заменяя ее техносферой. Причем техносферой агрессивной, с жестоким противоборством с Природой.

Способ существования современной цивилизации очень точно и лаконично сформулировал в начале XX века Мичурин: «Мы не можем ждать милости от Природы, наша задача взять их у нее». Этот лозунг в течение 75 лет висел в российских школах, в ВУЗах, в научно-исследовательских институтах, в Российской академии наук. Этот лозунг полностью соответствовал хищническому отношению к Природе правящих классов западных стран. Этот лозунг стал стратегией человечества на весь XX век.

Результат этой стратегии – глубокий экологический кризис планеты в начале XXI века. Биосфера планеты не в состоянии противостоять человеку-материалисту (хищнику), который продолжает разрушать Природу и создавать множество экологических проблем на планете.

В учебно-методическом пособии [5] обосновано, что энергетика России самое экологически опасное направление хозяйственной деятельности человека, что 70% всех экологических проблем и 70% всевозможных выбросов связано с энергетикой страны. Указано, что самым перспективным направлением смены энергетической парадигмы в России являются все виды возобновляемой энергетики: солнечной, ветровой, геотермальной, малых рек, океанов, Космоса.

В учебно-методическом пособии [5] рассмотрены традиционные возобновляемые источники энергии: солнечные энергетические установки, ветроэнергетические установки, геотермальные энергетические установки, гидроэлектростанции на малых реках. В течение последних 20-ти лет созданы и создаются нетрадиционные возобновляемые источники энергии, которые демонстрируют свою возможность встраивания в Природу,

свою высокую эффективность в направлении энергетического перевооружения России и вывода из эксплуатации крупных ГЭС, ТЭЦ, АЭС, ДЭС, как экологически опасных техногенных сооружений. Рассмотрению принципиальных особенностей таких нетрадиционных источников энергии и посвящено это учебное пособие. Цель пособия – дать студентам теоретические основы и практическую базу (на примерах существующих разработок) формирования нового инженерного мышления Со-творца с Природой, пробудив в них желание изучения законов Природы, их моделирования и использования в своей будущей инженерной деятельности – встраивания (вживления) искусственной техники и технологических процессов в живую Природу или делая искусственные технологические процессы органичным продолжением естественных процессов Природы (без выбросов и экологических возмущений окружающей среды).

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте характеристику современных отношений человека с Природой.
2. Дайте оценку лозунгу Мичурина.
3. Почему в настоящее время человек вне Природы?
4. Каков основной принцип деятельности инженера XXI века?
5. Дайте характеристику инженеру Со-творцу с Природой.
6. В чем принципиальное отличие нетрадиционных источников энергии от существующих?
7. Нужно ли современной России глобальное преобразование энергетики?
8. Заинтересовано ли правительство России в развитии децентрализованной энергетики на базе возобновляемых источников энергии?

Глава 1. Нетрадиционное использование солнечной энергии

1.1. Солнечная труба

Оригинальный проект солнечной электростанции предложил немецкий инженер Й. Шлейх. Электростанция представляет собой трубу диаметром 50 м и высотой 1000 м . Конусовидное основание станции остеклено и имеет диаметр 7000 м (рис. 1.1).

Принцип работы станции заключается в том, что воздух нагреваемый Солнцем под остеклением устремляется в трубу со скоростью $15,5\text{ м/с}$ и приводит в движение 32 ветроэлектрических установки. ВЭУ располагаются у основания трубы. Единичная мощность ВЭУ $6,25\text{ МВт}$. Большинство несущих конструкций станции выполнены из труб, по которым циркулирует вода. Поток инсоляции отдает тепло как воздуху так и воде, циркулирующей в трубах и аккумулируемой в баках аккумуляторов. Теплота воды обеспечивает нагревание воздуха под остеклением в ночное время и в пасмурные дни.

Мощность СЭС определяется равной 200 МВт . Капитальные затраты на строительство на 1 кВт мощности установки оценивается в 2800 долларов США, это значительно дешевле чем строительство традиционной ВЭС такой же мощности.

Установка Й. Шлейха в уменьшенном варианте (высотой 194 м , диаметром трубы 10 м с круглым тентом диаметром 242 м , изготовленного из пластика, высота тента от земли по периметру – 2 м) была установлена в местечке Манзанарес (Испания).

Под воздействием солнечного излучения воздух под тентом нагревается (парниковый эффект) и в результате возникающей тяги восходит через трубу, приводя в действие установленную в нем ветроэлектрическую установку мощностью 50 кВт .

Владельцем данной установки является компания Bundesministerium fur Forschung und Technologie (г. Бонн, Германия).

Установка работала с 1989 по 1996 г. Сейчас она остановлена и служит лишь для демонстрации принципа работы.

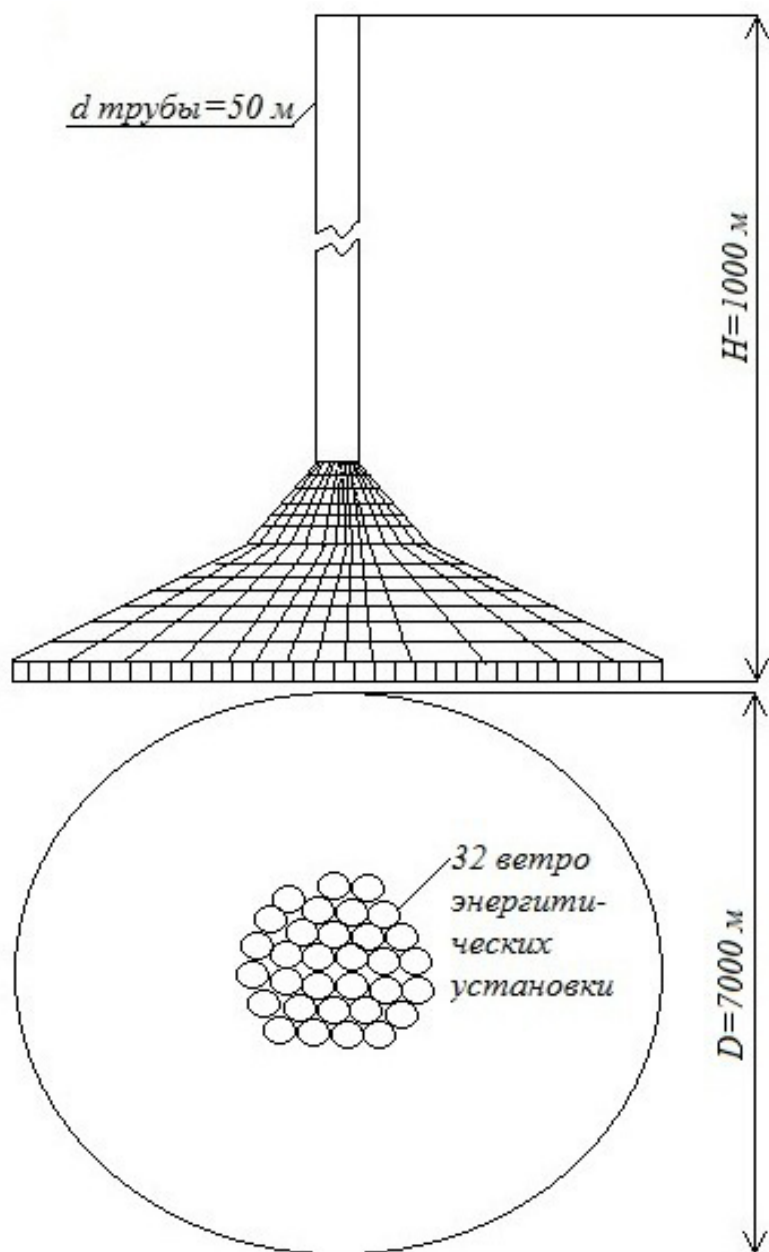


Рис. 1.1. Солнечная электростанция инженера Й. Шлейха

В 2002 году австралийское Министерство промышленности, туризма и ресурсов поручило фирме Enviro Mission разработать проект установки, которая должна стать больше и лучше чем в Манзанаресе – практически реализовать первоначальный проект Й. Шлейха. Проектная мощность электростанции 200 MВт , а капитальные затраты на ее создание должны быть не выше 800 млн. долларов США (4000 долларов за 1 кВт установленной мощности). Проектная годовая выработка электроэнергии $650\text{ ГВт}\cdot\text{ч}$ ($2,3\cdot 10^{15}\text{ Дж/год}$). Это значение соответствует высокому значению коэффициента использования установленной мощности на уровне 36%.

В соответствии с предварительными расчетами электростанция должна иметь тент диаметром 7 км с накрываемой площадью 38106 м^2 . При пиковой плотности потока солнечного излучения 1000 Вт/м^2 КПД установки оценивается всего в 0,5%.

Так как эффективность энергоустановки зависит от высоты трубы, то потребуется спроектировать трубу высотой 1000 м . Такая башня должна выдерживать огромные ветровые нагрузки, поэтому задача ее проектирования является крайне сложной. Существующая сейчас самая высокая башня (исключая радиобашни) находится в Торонто, ее высота 553 м (Canada's National Tower). В настоящее время по прошествии 7 лет после начала проекта австралийская солнечная труба все еще находится в стадии проектирования.

1.2 Орбитальные солнечные электростанции

Известно, что $\frac{1}{3}$ объема приходящей к земле солнечной радиации отражается атмосферой и поверхностью земной суши. Поэтому разрабатываются проекты фотоэлектрического преобразования солнечной энергии в космическом пространстве на околоземной орбите. В условиях невесомости возможны монтаж и эксплуатация гигантских солнечных панелей площадью более 100 км^2 , электрическая мощность которых может достигать 700 ГВт (рис. 1.2). При всех неизбежных потерях при передаче элек-

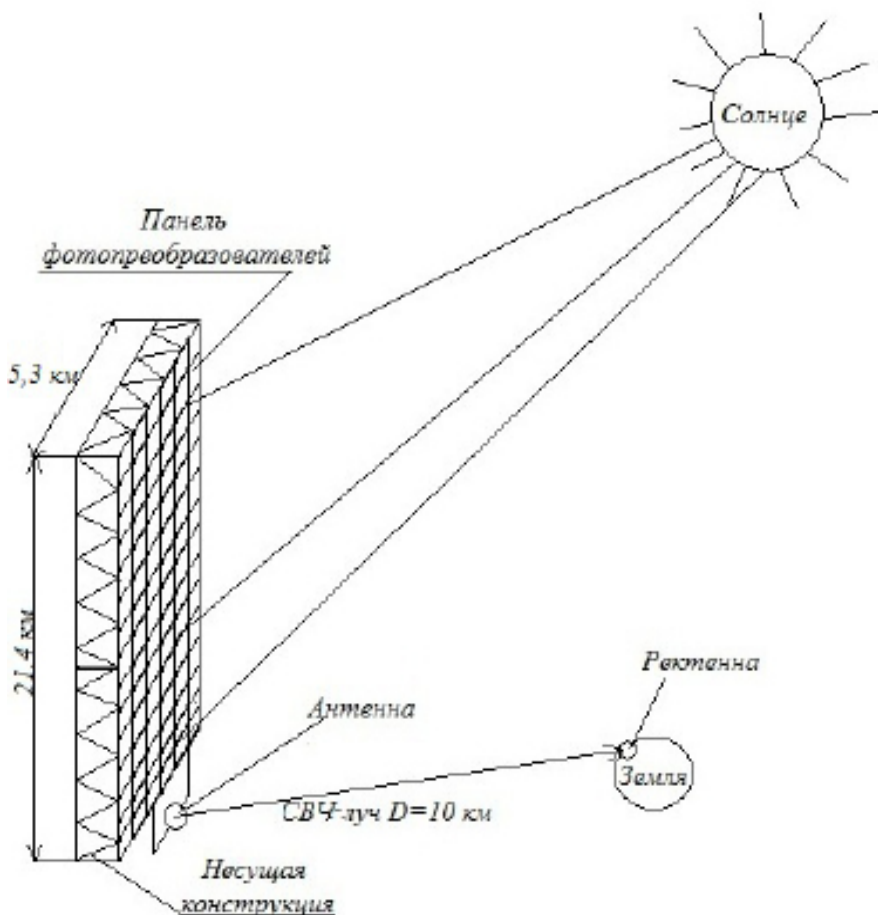


Рис. 1.2. Проект орбитальной солнечной электростанции удаленной от Земли на 36000 км

троэнергии на Землю должно поступать 60...80% объема электроэнергии выработанной орбитальной электростанцией.

В. А. Грилихес предполагает, что генерируемая мощность космической орбитальной фотоэлектростанции будет составлять 8...13 ГВт. Станция представляет собой искусственный спутник Земли, обращающийся на геостационарной орбите высотой 35800 км, с углом наклона к эклиптике – 23,5°. При этом обеспечивается постоянное пребывание спутника в зените над

фиксированной точкой на экваторе Земли. Размещение роктенны (приемного устройства) возможно повсюду между 70° северной и 70° южной широты. Мощность на выходе земной преобразующей системы полагается равной $5..10 \text{ ГВт}$.

По данным Кетова П.И. создание крупной космической СЭС обойдется более чем в $12 \text{ млрд. долларов США}$.

Саму идею электроснабжения Земли с помощью орбитальных электростанций впервые высказал в 1960 году русский инженер Н.А. Варваров, который писал: «Когда люди научатся передавать электроэнергию из космоса на Землю без проводов, подобно тому, как сегодня осуществляется связь по радио, творческая мысль человека направит свои усилия на создание космических гелиоэлектростанций, снабжающих жителей Земли электроэнергией в неограниченном количестве» (Н.А. Варваров. Космические гелиоэлектростанции // Техника молодежи. 1960. №1. с.34-36).

Технические предложения по созданию первой орбитальной солнечной электроэнергии были опубликованы П. Глэзером в 1968 г. (P.E. Glaser «The future of the power from the sun». IECSE-G5. Record 1968.-p.98-104).

По этим предложениям детально проект был проработан в НАСА в конце 80-х годов. Результатом рассмотрения проекта стало заключение о невозможности его реализации на существующем уровне развития техники. В начале 2000-х годов в связи со значительными научно-техническими достижениями интерес к проекту ОСЭ возобновился. В настоящее время крупные научно-исследовательские проекты в этом направлении реализуются в США, Японии, Канаде, Европейском союзе и по отдельным направлениям в России.

Концепция выдвинутая П. Глэзером предполагает создание на геостационарной орбите группировки ОСЭ, каждая из которых обеспечивает передачу на землю 5 ГВт электрической мощности.

Разработка ОСЭ содержит четыре компонента:

- 1) Систему преобразования энергии в космосе;
- 2) Систему передачи энергии на Землю;

- 3) Доставки оборудования и материалов на орбиту;
- 4) Сборкой ОСЭ на орбите.

1.2.1 Преобразование энергии солнечного излучения в электрическую энергию постоянного тока

Рассмотрение варианта применения в космосе термомеханического способа преобразования энергии на основе цикла Ренкина привело к выводу о предпочтении фотоэлектрических преобразователей. При этом возможны два варианта: использование кремниевых фотоэлектрических преобразователей без концентраторов солнечного излучения и преобразователей на основе арсенида галлия с солнечными концентраторами, с коэффициентом концентрации равным двум, достигаемым с помощью отражателей типа «корыто». Данные решения обусловлены тем, что галлий-арсенид допускает более высокую температуру эффективной эксплуатации (125°C), чем кремний (36°C). При таких температурах КПД может быть 18,2% для Ga As и 16,5% для Si.

Из $10,5 \text{ ГВт}$ выработанной мощности для передачи на Землю поступит около $8,5 \text{ ГВт}$. Столь значительные потери связаны с потерями в электрокабелях. Максимально допустимое напряжение на СВЧ-генераторе оценивается в 40000 В . Это ограничение связано с риском электрического пробоя в разреженной атмосфере на высоте геостационарного полета ОСЭ. Указанным значениям электрической мощности и напряжению соответствует электрический ток в 262000 А . Поэтому электрическое сопротивление кабелей должно быть крайне низким, чтобы обеспечить минимальные потери, равные I^2R .

1.2.2 Передача энергии с орбиты на Землю

Одним из уникальных результатов, полученных в процессе проработки концепции ОСЭ, стал вывод о том, что передавать энергию на Землю наиболее эффективно посредством СВЧ-излучения, чем по электрическим проводам соответствующей

протяженности. Предварительные оценки показали, что с помощью СВЧ-луча энергию с орбиты на Землю можно передать с эффективностью около 74%, в то время как по проводам – с эффективностью в 2 раза меньшей. Более того, было показано, что с помощью СВЧ-излучения можно передавать энергетические потоки существенно более мощные, чем сегодня обеспечивают самые крупные линии электропередачи (самая крупная линия электропередачи между Итайпу и Сан-Пауло в Бразилии имеет мощность всего 3,25 ГВт).

Проектирование беспроводной системы передачи энергии наталкивается на ряд ограничений. В частности, имеется ограничение на максимальную плотность мощности высокочастотного энергетического потока через ионосферу. По оценкам он должен быть не выше 230 Вт/м^2 , иначе нелинейные эффекты, связанные с его взаимодействием с ионосферой, могут вызвать искажение радиосигналов, распространяющихся в атмосфере.

Другое важное требование – ограничение мощности СВЧ-пучка за пределами приемной ректенны. Поскольку физически «обрезать» границы пучка не представляется возможным, требуется, чтобы энергетический поток, излучаемый с орбиты, имел гауссово рациональное распределение плотности.

1.2.3 Антенна

Микроволновое излучение направляется на антенну через подвижное шарнирное соединение. Необходимость использования шарнира обусловлена тем, что антенна должна быть ориентирована на наземный приемник (ректенну), в то время как панель с фотоэлектрическими преобразователями должна «следить» за «движущимся» Солнцем. С учетом ряда ограничений плотность передаваемой мощности должна быть не выше 22 кВт/м^2 . В этом случае площадь антенны должна составить 300000 м^2 , что соответствует кругу диаметром 600 м.

Антенна представляет собой планарную фазированную решетку, состоящую из большого числа излучателей, разбитых

на группы, каждая из которых должна находиться на строго одинаковом расстоянии от наземной цели. Поскольку для передачи энергии была выбрана длина волны 12 см ($2,45\text{ ГГц}$), каждый индивидуальный излучатель должен быть выставлен с точностью до 1 см на всей площади антенны, занимающей 80 га , чтобы обеспечить формирование пучка с параметрами, необходимыми для точной ориентации на наземный приемник.

В аварийной ситуации при потере фазового контроля происходит расфокусировка антенны, и микроволновое излучение рассеивается в пространстве.

1.2.4 Ректенна

Как было сказано выше на выходе наземной приемной антенны (ректенны) может быть получено $5,15\text{ ГВт}$ энергии, из которых 5 ГВт может быть передано в электрическую сеть.

Если бы приемная антенна была расположена на экваторе, то она должна бы иметь форму круга диаметром 10 км , а ректенна на широте 40° – форму эллипса с осями 10 и 14 км .

Наземная приемная система состоит из некоторого количества ректенн – антенн, снабженных индивидуальными выпрямителями. Такая схема позволяет избежать необходимой регулировки рассогласования фаз и относительно просто суммировать преобразованные токи.

Поскольку длина волны равно 12 см , то каждая антенна «видит» площадь 20 см^2 . Суммарное число антенн при диаметре всей ректенны 10 км составляет 50 млрд. Для того чтобы создать такое количество антенн за 1 год нужно изготавливать 1500 микроантенн в секунду, что является исключительно сложной задачей.

1.2.5 Пространственная ориентация ОСЭ и управление ее положением на орбите

Изменение пространственного положения ОСЭ вызывает

большое число факторов, среди которых наиболее существенными являются:

- 1) притяжение Солнца и Луны;
- 2) отклонение геогравитационного поля от сферической симметрии;
- 3) давление потока солнечного излучения;
- 4) отдача при излучении пучка микроволнового излучения;
- 5) ротационное трение в узлах сочленения элементов станции;
- 6) взаимодействие с геомагнитным полем;
- 7) воздействия, обусловленные градиентом гравитационных сил.

Для коррекции положения станции на орбите предполагается использовать аргонные двигатели. По предварительным оценкам, на это потребуется около 50000 кг аргона ежегодно.

1.2.6 Доставка узлов и материалов на орбиту и их монтаж

Решение проблем доставки и сборки конструкций ОСЭ являются серьезной и интересной инженерной задачей. Ясно, что сборка должна осуществляться на орбите.

По оценкам, это потребует не менее 850 человеко-лет трудозатрат даже в том случае, если использовать самые современные работы-сборщики, т.е. необходимо будет обеспечить длительное проживание большого числа специалистов в Космосе. Должны быть созданы космические челноки, обеспечивающие доставку на орбиту как минимум на порядок больших масс грузов, чем это возможно сегодня. Потребуется более 400 транспортных экспедиций для доставки на одну орбитальную солнечную электростанцию. Если принять продолжительность строительства одной станции ~ 1 год, то потребуется осуществлять запуски челноков с частотой более одного в сутки.

1.2.7 Перспективы создания ОСЭ

Первоначальный энтузиазм, вызванный идеей создания орбитальных солнечных электростанций, сильно угасает, когда

становится известными результаты научно-технических и экономических оценок. Департамент энергетики США оценивает стоимость одной демонстрационной ОСЭ с учетом строительства наземной приемной антенны в 100 млрд. долларов.

В 1981 г. Национальный исследовательский совет США оценил стоимость программы создания группировки ОСЭ в 3 трилн. долларов и ее продолжительность в 50 лет. Такой проект вызвал возражение со стороны всех групп специалистов.

Безусловно, стоимость проекта нереальна. В этой ситуации появились предложения по организации производства основных модулей на Луне с использованием лунного сырья. Запуск кораблей-челноков с Луны требует меньших энергетических затрат, чем с Земли.

Предполагается также проработать вопрос создания солнечных электростанций на поверхности Луны, но возможность передачи энергии оттуда на Землю пока еще не получила обоснования.

К сожалению эксперты этих проектов не затронули вопрос безопасности населения Земли при создании ОСЭ. Ведь одна из сложнейших проблем – точное нацеливание антенны ОСЭ на ректенну на Земле и удержание СВЧ-луча в границах ректенны. Любая авария, любой переходный процесс, сбой в управлении антенной, любой самый маленький метеорит может привести к катастрофе равной тысяче чернобыльских катастроф. Мощнейший СВЧ-луч с площадью покрытия поверхности на Земле около 78 км^2 может начать произвольное перемещение по поверхности нашей Планеты мгновенно уничтожая все живое: леса, поля, озера, реки, оставляя после себя пустыню. Поэтому реализовывать проекты ОСЭ нельзя ни в коем случае из-за их чрезвычайной опасности для человечества Земли.

Следует отдать дань уважения людям, которые работали над этими проектами. Они побудили ученых и инженеров решать принципиально новые задачи, решение которых дало толчок к дальнейшему развитию освоения Космоса.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите все существующие технологии использования солнечной энергии.
2. Назовите преимущества солнечной электростанции Шлейха перед существующими солнечными электростанциями.
3. Назовите преимущества солнечной электростанции Шлейха по сравнению с традиционными ветроэлектростанциями.
4. Укажите недостатки электростанции Шлейха.
5. Каким образом в орбитальной электростанции происходит преобразование энергии солнечного излучения в электрическую энергию?
6. Изложите принцип передачи энергии с орбиты на Землю.
7. Расскажите как работает антенна орбитальной электростанции?
8. Что такое ректенна, как она устроена и работает?
9. Охарактеризуйте принцип пространственной ориентации ОСЭ.
10. Каким образом осуществляется доставка узлов и материалов на орбиту?
11. Как и кем осуществляется монтаж узлов ОСЭ?
12. Каковы перспективы создания космических электростанций?
13. Почему нельзя реализовать проекты ОСЭ?

Глава 2. Солнечно-водородная энергетика

2.1 Топливо из света, воды и воздуха

Солнце, воздух и вода – три основы биологической жизни на Земле, три энергетических основы человечества. Недостатком энергии Солнца для нас людей является то, что мы не можем залить ее в канистру или заправить ей машину где угодно и когда угодно. Другими словами, нужен накопитель энергии, который будет действовать как связующее звено между солнечной энергией и потребителем.

Это связующее звено должно отвечать следующим условиям:

- 1) оно должно быть удобно в хранении и транспортировании;
- 2) это должно быть топливо, которое можно использовать на транспорте, в жилых домах, в промышленности;
- 3) оно должно быть экологически чистым;
- 4) его ресурсы должны быть неограниченными.

Лучше всех перечисленным требованиям отвечает – водород. Он не производит никаких веществ, вызывающих парниковый эффект, никаких химикатов, образующих смог и кислотные дожди. Все, что он производит – это электричество и водяной пар.

Водород очень высокоэффективное топливо. Он может быть преобразован в другие формы энергии (механическую, электрическую) с высоким КПД. Так его КПД в автомобилях составляет 60%, а в то время как эффективность бензина – всего 25%.

На Земле водород в свободной форме не содержится, в основном он соединен с кислородом, образуя воду. Водород хорошо восполняет недостатки солнечной энергетике, и это объединение солнца и водорода называют солнечно-водородной энергетикой.

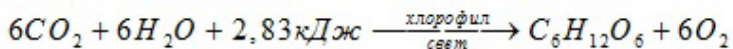
Водород производится одним из методов его получения с использованием солнечной энергии в ее прямой или косвенной форме. Затем он может переправляться по трубопроводам или в танкерах в районы потребления, где его преобразовывают в электрическую энергию или напрямую используют в качестве

топлива для машин и различных народнохозяйственных нужд.

Традиционные топлива успешно заменяются водородом, получая при этом огромную выгоду и улучшая состояние окружающей среды.

2.2. Фотокаталитические процессы

В Природе фотокаталитический процесс синтеза глюкозы и кислорода из воды и углекислого газа (CO_2) при непрерывном притоке солнечной энергии (фотосинтез) является источником жизни на Земле:



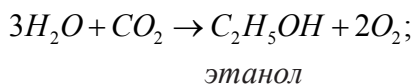
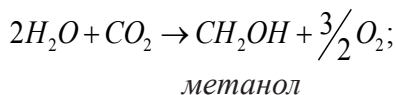
Прекращение фотосинтеза привело бы к полному исчезновению кислорода из атмосферы планеты в течение 2000 лет.

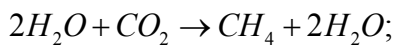
В отсутствие хлорофилла, зеленого пигмента растений, имитирующие природный фотосинтез процессы обеспечиваются катализаторами:

- 1) высокодисперсными благородными металлами (Pt, Rh (III) в комплексе с этилендиамином);
- 2) гетерополианионами.

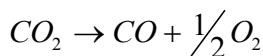
Солнечная энергия при этом поглощается как в форме видимого света, так и ультрафиолетового излучения.

Протекающие при комнатной температуре ($20^\circ C$) и атмосферном давлении фотокаталитические реакции позволяют получать углеводородные энергоносители:

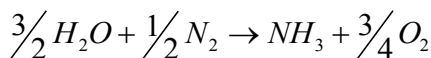
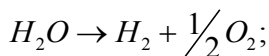




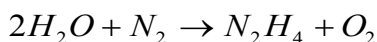
метан



и альтернативные (не содержащие углерод) энергоносители:



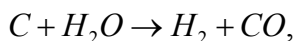
аммиак



гидразин

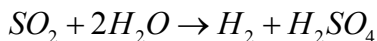
Химизм фотокаталитических процессов позволяет связать в единую систему углеводородную и солнечную энергетики.

В частности большое значение имеет фотокаталитическая газификация водной суспензии угля, битума, горючего сланца:

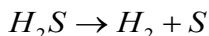


реакция протекает на платинированном оксиде титана (IV).

Фотокаталитические процессы синтеза водорода и серной кислоты



и разложения сероводорода



обуславливают возможность переработки сбросных сернистых газов промышленности (химический, нефтяной, металлургический и т.д.) и сероводородных газов газовых месторождений на альтернативный – водород.

Это будет единственная в своем роде экологически безопасная технология переработки, где сера и серная кислота представляют собой ценное сырье для химической промышленности.

Основываясь на неисчерпаемой энергии Солнца, неисчерпаемых запасах воды, углекислого газа в атмосфере и промышленном освоении фотокатализа, человечество получит в полном смысле альтернативную энергетику – энергетику из света, воздуха и воды, высокоэффективную и экологически безопасную.

2.3 Промышленные методы производства водорода

1. Метод термоллиза воды

В этом методе водяной пар нагревается до 1400°C , после чего молекулы воды начинают распадаться, образуя газообразные водород и кислород. Чем выше температура, тем выше скорость распада молекул в паре. Для получения большого количества водорода нагрев необходимо проводить при температуре $2500\text{--}3000^{\circ}\text{C}$, что возможно при использовании параболических зеркал, фокусирующих солнечную энергию на контейнеры с водой.

2. Термохимический метод

Пар с температурой $300\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ пропускают через железный порошок, что приводит к окислению железа кислородом и высвобождению связанного водорода. В настоящее время ведутся исследования по применению различных материалов, которые сделают этот метод более дешевым.

3. Электролитический метод

Технология этого метода хорошо разработана. С ее помощью элементы, подобные автомобильным аккумуляторам, используются для производства водорода и кислорода из воды. Каждый элемент состоит из двух электродов, помещенных в электролит (воду с химическими добавками, повышающие ее электропроводность), и подсоединен к источнику постоянного тока. Если к электродам приложить напряжение, достаточное для возникновения тока, то кислород будет выделяться на аноде, а водород – на катоде.

4. Фотолитический метод

В этом методе Солнце используют для прямого разложения воды на водород и кислород, не прибегая к помощи высоких

температур или электричества. Молекулы воды поглощают солнечные фотоны. Захватив большое число фотонов, молекула воды сама распадается на кислород и водород. Это явление называется фотолизом. Для инициирования разложения воды в нее добавляют различные неорганические вещества, которые будут поглощать больше фотонов, чем это сделает сама вода. Фотолитический метод получения водорода менее производителен, но дешевле, чем остальные методы.

Таким образом водород является экологически чистым посредником в использовании солнечной энергии.

Сначала, используя солнечную энергию (прямую и непрямую), получают электроэнергию. Далее, электроэнергию в электролизных установках, из воды получают водород – как новое экологически чистое топливо и кислород, который может быть выпущен в атмосферу или как-нибудь использован. Потом с помощью танкеров или трубопроводов водород транспортируют в центры потребления. Там водород будет сожжен в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания вместо бензина или дизельного топлива или использован в топливных элементах для получения механической, электрической и тепловой энергии. И конечным продуктом всех этих процессов (отходами, выбросами) будет чистая вода.

Таким образом солнечно-водородные установки должны обеспечить человечество в полном смысле экологически чистым и высокоэффективным топливом.

2.4 Схема электролиза воды электрическим током, вырабатываемым путем прямого преобразования энергии излучения Солнца в электроэнергию с помощью солнечных батарей

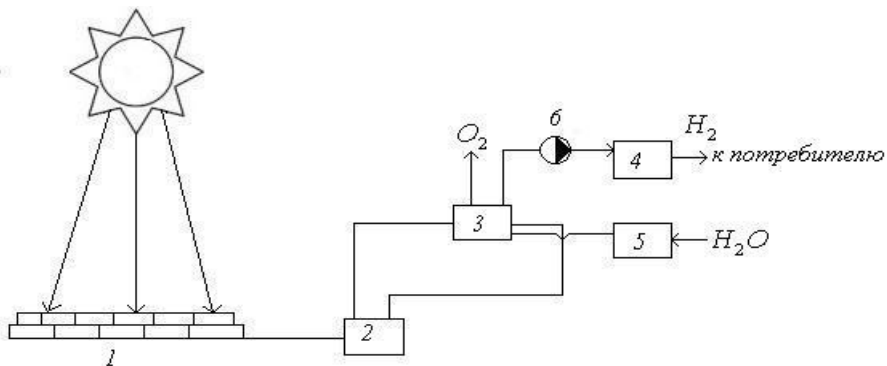


Рис. 2.1.

- 1 – фотоэлектрогенератор;
- 2 – преобразователь тока;
- 3 – электролизер;
- 4 – хранилище водорода;
- 5 – приготовление раствора;
- 6 – насос.

2.5 Схема электролиза воды электрическим током, вырабатываемым тепловой солнечной станцией с паровым циклом обычного типа

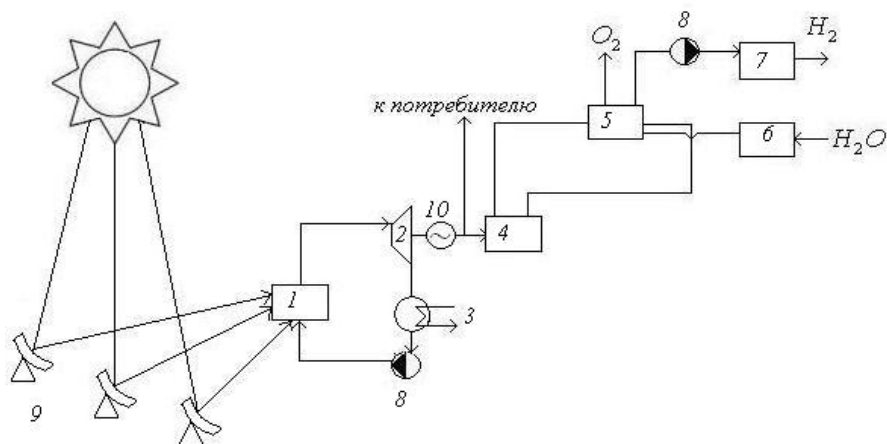


Рис. 2.2.

- 1 – парогенератор;
- 2 – турбоагрегат;
- 3 – конденсатор;
- 4 – преобразователь тока;
- 5 – электролизер;
- 6 – приготовление раствора;
- 7 – хранилище водорода;
- 8 – насос;
- 9 – концентраторы солнечного излучения;
- 10 – электрогенератор.

2.6 Схема получения и преобразования энергии в системе ветродородной электростанции

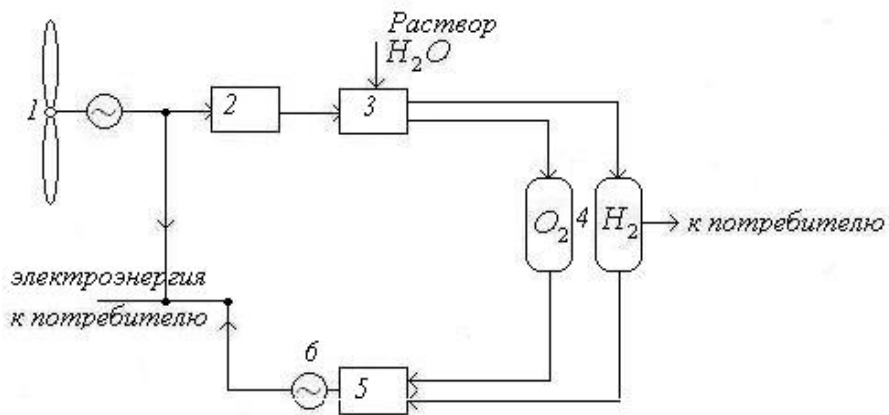


Рис. 2.3.

- 1 – ветроэнергетический агрегат;
- 2 – трансформаторно-выпрямительный блок;
- 3 – электролизер;
- 4 – ресиверы для хранения водорода и кислорода;
- 5 – двигатель внутреннего сгорания;
- 6 – электрогенератор.

2.7 Схема получения водорода электролизом воды за счет геотермальной энергии

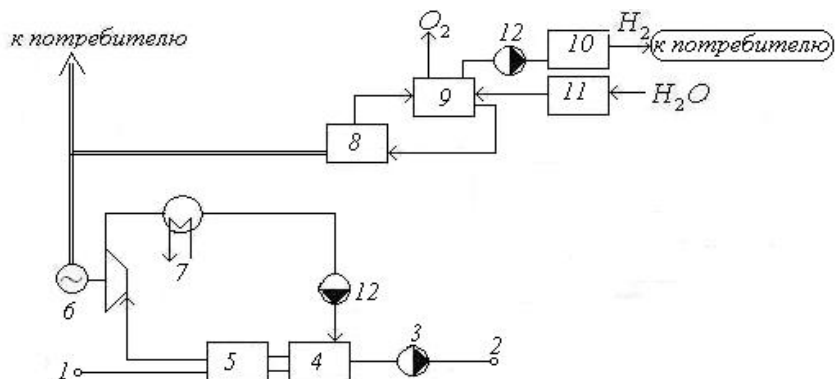


Рис. 2.4.

- 1 – добывающая скважина;
- 2 – нагнетательная скважина;
- 3 – насос закачки отработанной термальной воды;
- 4 – теплообменник – подогреватель;
- 5 – испаритель;
- 6 – турбоэлектрический агрегат;
- 7 – конденсатор;
- 8 – трансформаторно-выпрямительное устройство;
- 9 – электролизер;
- 10 – хранилище водорода;
- 11 – приготовление раствора;
- 12 – насос.

В данной схеме электроэнергия Гео ЭС используется в ночное время для получения водорода.

2.8 Хранение и использование водорода

В больших количествах водород лучше всего хранить под землей. Для этого можно использовать выработанные коллекторы-пустоты, оставшиеся после выкачивания нефти и природного газа, или шахты и прочие подземные сооружения. Подобные хранилища есть во Франции и в Великобритании.

Запасенный водород в дальнейшем необходимо доставить к месту потребления. В небольших количествах его можно перевозить в цистернах-топливовозах как газ. Но там где требуется его большое количество, трубопроводы являются наиболее экономичным способом транспортировки. В США и Европе уже накоплен некоторый опыт безопасной транспортировки водорода по трубам.

Электроэнергия может быть получена из водорода тремя разными путями – с использованием газовой турбины, паровой турбины и топливного элемента.

Газовые турбины используют для получения механической энергии и ее преобразования в электрическую при соединении турбины с электрогенератором.

Большие количества механической и электрической энергии получают от паровых турбин с использованием угля и мазута, что приводит к значительному загрязнению окружающей среды. Это же количество пара можно получать более чистым способом, сжигая водород в чистом кислороде, продуктом сгорания при этом будет вода (в виде пара).

Как топливо для транспорта водород удобнее и безопаснее применять в жидком виде. В пересчете на 1 кг массы он в несколько раз превосходит керосин по теплотворной способности. Но плотность жидкого водорода значительно меньше чем у керосина, поэтому требуется больший объем топливных баков, которые должны иметь высококачественную изоляцию.

Наиболее безопасно аккумуляирование и хранение водорода в твердофазном связанном состоянии – в металлогидридах и композитных наноструктурных материалах, где водород

«хранится» в межатомных пространствах кристаллической решетки металла. Для выделения водорода металл нужно нагреть до невысокой температуры. Исследования и разработки таких новых технологий охватывают как создание и исследование новых металлгидридных систем, так и систем на основе новых водородопоглощающих материалов.

В созданных к настоящему времени низкотемпературных обратимых металлгидридных системах хранения весовое содержание доступного водорода составляет не более 2% при его объемной плотности, превышающей плотность жидкого водорода. Для использования в крупномасштабных системах и на транспорте такое низкое массовое содержание водорода является серьезным препятствием.

Существенно большего весового содержания водорода (до 5% веса) удастся достичь для высокотемпературных обратимых металлгидридных систем. Однако для их функционирования необходимы источники высокопотенциального тепла, что снижает экономическую эффективность таких систем аккумулирования.

Поэтому важнейшей задачей при создании эффективных устройств для хранения водорода в твердофазном связанном состоянии является разработка новых поглощающих материалов (композитных, каталитических и наноструктурных) с улучшенной кинетикой поглощения и повышенной емкостью по водороду.

Использование водорода как экологически чистого энергоносителя для производства электроэнергии возможно как в топливных элементах, так и в водородосжигающих энергетических установках.

2.9 Состояние и проблемы развития водородной энергетики

В свободном состоянии и при нормальных условиях водород является бесцветным газом, без вкуса и запаха, плотностью $0,084 \text{ кг/м}^3$. В газообразном состоянии при любом давлении водород обладает меньшей энергией, чем природный газ, метанол, пропан, бензин (на единицу объема).

Жидкий водород (при температуре 20 K) занимает $\frac{1}{700}$ часть его объема в газообразном состоянии. По удельному массовому энергосодержанию жидкий водород, имеющий высшую теплоту сгорания 142,8 МДж/кг, почти в 3,5 раза превышает данный показатель нефтяных видов топлива. Это главная причина, по которой жидкий водород используется как топливо для летательных аппаратов, где высокое энергосодержание на единицу массы имеет первостепенное значение.

Для успешного развития водородной энергетики должны быть разработаны эффективные методы и процессы широкомаштабного получения дешевого водорода, а так же технологии его хранения, транспортирования и использования.

На современном этапе риформинг (конверсия) углеводородов получил в мире промышленное распространение. Сегодня на его долю приходится 96% мирового производства водорода (50 млн. т), из которых 48 производится риформингом метана, 30 – нефти, 18 – угля. Стоимость водорода, полученного риформингом метана, для потребителя равно 4,5 долларов/кг, что эквивалентно цене бензина ~ 1 доллар/л.

Цена водорода, получаемая конверсией метана, примерно в 3-4 раза ниже, чем получаемого электролизом воды. Но проблема этой технологии состоит в том, во-первых, в наличии попутных выбросов углекислого газа и других негативных экологических последствий, во-вторых, в исчерпаемости природного газа.

Поэтому альтернативным и более перспективным во всех отношениях остается способ производства водорода электролизом воды (4 % мирового производства) с потреблением электроэнергии, получаемой различными способами. Эта технология очень проста и экологически безопасна, но дорогостояща. В настоящее время цена электролизного водорода в зависимости от тарифа на электроэнергию и объема производства составляет 6-10 долларов/кг.

Такая же стоимость водорода и при получении его с использованием ВИЭ (ветер, солнечная энергия, сжигание биомассы).

При регулярной эксплуатации электролизера (более 5 000 часов в год) стоимость водорода на 65-70% определяется стоимостью электроэнергии.

Разница в стоимости водорода, полученного при использовании электроэнергии по средней цене и при использовании «дешевой» электроэнергии ночного времени отличается в 2,5-3 раза. Поэтому целесообразно запускать электролизеры в работу в ночное время, что выровняет больше нагрузок в энергосистеме.

Очень важным аспектом способа получения водорода электролизом из воды является отсутствие зависимости от оставшихся запасов углеводородного топлива, его стоимости, перебоев с поставками. В перспективе этот способ получения водорода займет основное место в промышленности.

Возможность аккумулирования хранения и использования водорода в различных формах и состояниях, транспортирования и распространения через сетевую систему и доставка потребителю в нужное время и в нужное место – это важнейшее достоинство водорода, отсутствующее у электроэнергии. Поэтому водород рассматривается как потенциально перспективное энергоаккумулирующее вещество.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте характеристику фотокаталитических процессов.
2. Перечислите существующие промышленные методы производства водорода. дайте характеристику каждого.
3. Нарисуйте схему электролиза воды электрическим током, вырабатываемым солнечными батареями.
4. Нарисуйте схему электролиза воды электрическим током, вырабатываемым тепловой солнечной электростанцией с паровым циклом.
5. Нарисуйте схему ветроводородной энергетической установки.
6. Нарисуйте схему геотермальноводородной энергетической установки.
7. Расскажите о методах хранения водорода.

Глава 3. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения

Для утилизации низкопотенциальной энергии во всем мире успешно используются тепловые насосы (ТН).

Тепловым насосом является всякая холодильная машина, предназначенная для передачи теплоты от низкотемпературного источника к среде с более высокой температурой. Тепловой насос работает в диапазоне более высоких рабочих температур, чем холодильная машина.

Из всех нетрадиционных методов производства тепловой энергии наибольшее развитие получила выработка тепла при помощи ТН. В настоящее время в ряде развитых стран (США, Германия, Дания, Франция, Швеция, Япония, Швейцария) ТН интенсивно вытесняют традиционные способы теплоснабжения, основанные на прямом сжигании органического топлива. Согласно прогнозам Мирового энергетического совета к 2020 г. 75% теплоснабжения в развитых странах будет осуществляется с помощью ТН. Этот прогноз успешно реализуется. В настоящее время в мире работает более 40 млн. ТН различной мощности – от нескольких киловатт до сотен Мегаватт.

Теплонасосные установки (ТНУ), осуществляя обратный термодинамический цикл на низкокипящем рабочем веществе, черпают низкопотенциальную тепловую энергию либо из окружающей среды, либо из других источников и, затрачивая некоторое количество механической или электрической энергии, отдают потребителю тепло при температуре необходимой для теплоснабжения.

Эффективность ТНУ тем выше, чем меньше разность между температурой, потребляемой для теплоснабжения и исходной температурой низкопотенциального тепла.

Применение ТНУ позволяет перейти к децентрализованным системам теплоснабжения (без протяженных дорогостоящих тепловых сетей), когда тепловая энергия генерируется вблизи ее потребителя.

Внедрение таких экономичных и экологически чистых технологий теплоснабжения необходимо в первую очередь во вновь строящихся районах городов и населенных пунктов. При этом можно полностью исключить применение электродогревательных котлов, которые потребляют в 3-4 раза больше электроэнергии, чем ТНУ.

Еще одно преимущество ТНУ весьма перспективно в комбинированных системах в сочетании с другими технологиями использования возобновляемых источников энергии (солнечной, ветровой, биоэнергетики), так как позволяет оптимизировать параметры сопрягаемых систем и достиг наиболее высоких экономических показателей.

В развитых странах задача ставится не локального или ограниченного применения теплонасосного теплоснабжения, а о максимальном отказе от прямого сжигания для этих целей органического топлива.

Для распространения ТНУ в России требуется государственное стимулирование как производителя этой техники так ее пользователя. Такое стимулирование имеет место во всем мире.

Россия располагает необходимым научным, инженерным и промышленным потенциалом для освоения и производства современных тепловых насосов всех типов.

В качестве источника низкопотенциальной теплоты в ТНУ могут быть использованы:

- 1) промышленные и очищенные бытовые сточные воды;
- 2) вода различных технологических циклов;
- 3) теплота грунтовых и терминальных вод;
- 4) теплота наружного воздуха;
- 5) теплота вентиляционного воздуха, дымовых газов и любых сбросных тепловых потоков;
- 6) воды поверхностных источников (рек, озер, морей);
- 7) воды систем водо- и теплоснабжения;
- 8) низкопотенциальное тепло грунта.

ТНУ состоит из собственно теплового насоса (ТН) и системы, обеспечивающей подвод тепла от низкопотенциального

источника. В ТНУ могут входить несколько ТН.

3.1 Схема теплового насоса

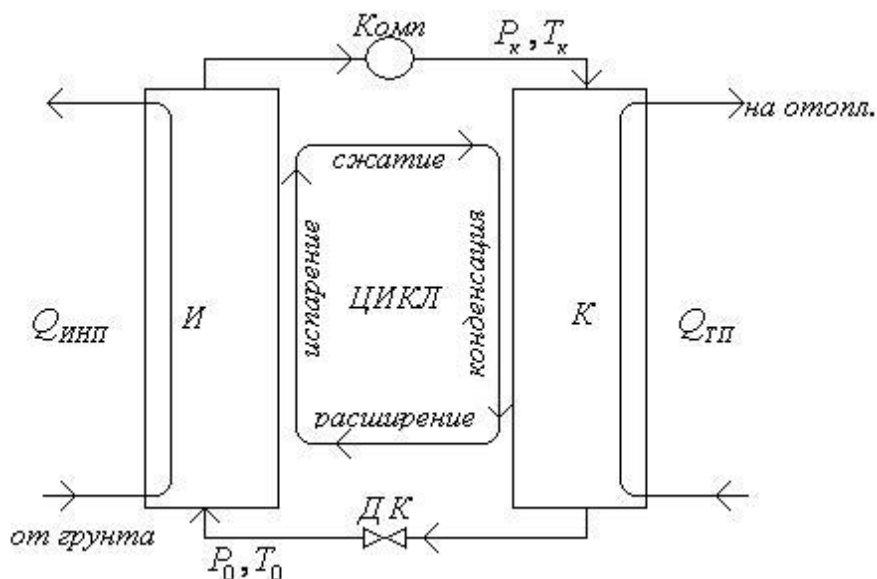


Рис. 3.1.

Жидкий рабочий агент с параметрами T_0 и P_0 поступает в испаритель, где происходит его испарение и перегрев за счет объема тепла ($Q_{инп}$) с низкопотенциального источника. Образующийся перегретый пар сжимается компрессором до давления $P_к$, которому соответствует более высокая температура насыщения $T_к$, и поступает в конденсатор, где отдает нагреваемой среде (воде системы теплоснабжения) теплоту ($Q_{отп}$) перегрева и конденсации. После охлаждения в конденсаторе (теплообменнике) производится снижение давления конденсата рабочего агента от $P_к$ до P_0 в дросселе с понижением его температуры до T_0 , т.е. до исходных параметров и цикл повторяется.

Таким образом, в непрерывном круговом процессе теплота переносится с более низкого температурного уровня на более высокий с подводом энергии извне, затрачиваемой на повышение давления парообразного рабочего вещества (обратный термодинамический цикл).

Разнообразное исполнение тепловых насосов классифицируется по ряду признаков:

- 1) принцип действия (парокомпрессионные абсорбционные, термоэлектрические);
- 2) виду потребляемой энергии (механической, электрической, тепловой);
- 3) используемому источнику низкопотенциального тепла (воздух, вода, грунт, стоки);
- 4) виду привода (электродвигатель, ДВС и т.д.)

Коэффициент преобразования ТН (μ -отношение отдаваемой теплоты к затраченной энергии) в первом приближении зависит только от разности температур конденсации и испарения ($T_k - T_0$) низкокипящего рабочего агента. Чем меньше эта разность, тем выше коэффициент преобразования μ :

$$\mu = \frac{Q_{mn}}{N_e} = \frac{N_e + Q_{исп}}{N_e} = 1 + \frac{Q_{исп}}{N_e}$$

где Q_{mn} – тепловая мощность передаваемая потребителю;
 N_e – мощность затрачиваемая на привод компрессора.

Из формулы следует, что μ больше единицы и будет тем выше, чем меньше величина энергии, затрачиваемой в компрессоре. Последнее зависит от свойств рабочего агента и принятого уровня температур его испарения и конденсации.

Идеальный рабочий агент должен характеризоваться химической стабильностью и инертностью по отношению к конструктивным материалам и рабочим маслам, невоспламеняемостью, нетоксичностью, низкой стоимостью, невысоким давлением конденсации, давлением кипения, близким к атмосферному, высокой критической температурой и низкой температурой замерзания.

Поскольку рабочего агента, который отвечал бы всем перечисленным требованиям нет, то применяют рабочие агенты, удовлетворяющие наиболее важным требованиям.

Хладон R12 нетоксичен, обладает наиболее высокой тепловой мощностью. Главным недостатком хладона R12 является высокое давление в фазе конденсации, вследствие чего максимальная температура теплоносителя, достигаемая в тепловых насосах, не превышает 60°C .

С этой точки зрения перспективным для применения оказывается хладон R142B. При его применении температуру теплоносителя удается повысить до $90-100^{\circ}\text{C}$. Основным недостатком хладона R142B является его горючесть.

В ТН в качестве рабочих агентов помимо общеизвестных хладагентов R12, R22, R142B, используются новые, относительно озонобезопасные хладагенты R407C, R410A, R134A.

Для сопоставления эффективности ТН и традиционных генераторов теплоты, например, котельных, а так же сравнения ТН разных принципов действия применяют обобщенный критерий – коэффициент использования первичной энергии K . Он определяется как отношение полезной теплоты, отдаваемой ТН потребителю к израсходованной энергии первичного источника.

Правильное сочетание параметров низкопотенциального источника тепла и требуемых параметров теплоты у потребителя – важнейшее условие эффективности применения ТН. Сближение температур T_0 и T_k достигается принципиально новыми инженерными решениями в системе отопления зданий. Так для современной системы напольного отопления достаточно температуры $30-40^{\circ}\text{C}$, тогда как для традиционной системы отопления через радиаторные батареи нужно иметь $70-90^{\circ}\text{C}$.

3.2 Схема действия теплонасосной установки теплоснабжения с горизонтальным коллектором

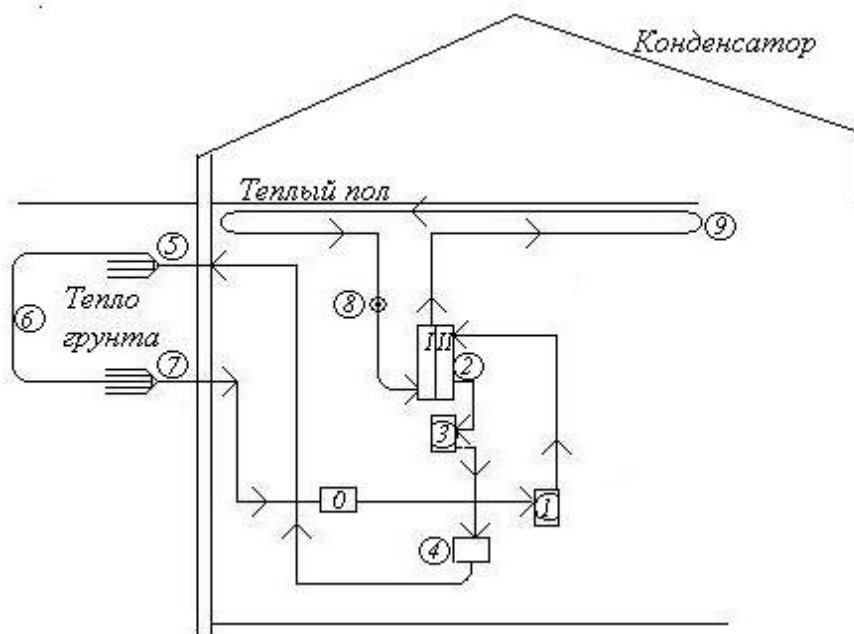


Рис. 3.2

- 0 – испаритель;
- 1 – компрессор;
- 2 – теплообменник;
- 3 – конденсатор;
- 4 – электрорегулятор рабочей жидкости;
- 5 – коллектор;
- 6 – земляной коллектор;
- 7 – конденсатор;
- 8 – циркуляционный насос;
- 9 – теплый пол.

3.3 Теплонасосные системы теплоснабжения (ТСТ) с грунтовыми теплообменниками в вертикальных скважинах

При отсутствии на небольших глубинах грунтовой или низкотермальной воды в ТНУ малой мощности для промышленных целей и отопления многоэтажных домов можно использовать теплоту грунта земли через грунтовые теплообменники вертикальных скважин.

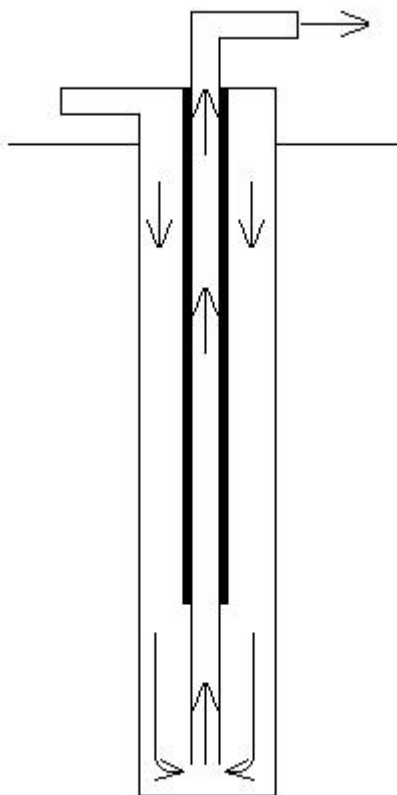


Рис. 3.3. Схема скважины с вертикальным грунтовым теплообменником

Исследования свидетельствуют о том, что с увеличением времени эксплуатации теплообменника эффективность съема

тепла с горной породы снижается, т.е. происходит уменьшение коэффициента теплопередачи K от грунта к промежуточному теплоносителю, за счет роста термического сопротивления горных пород.

За счет того, что коэффициент теплопередачи при малом времени эксплуатации скважины значительно выше, чем при ее эксплуатации в течение продолжительного времени, теплообменник глубиной 100 м , находящийся в эксплуатации 24 часа, по отбираемому теплу практически равнозначен теплообменнику глубиной 200 м , эксплуатируемому постоянно в течение всего отопительного сезона.

Извлекаемая из вертикального грунтового теплообменника грунтовая энергия линейно зависит от глубины теплообменника. При этом удельный съем тепла q с горной породы на 1 м глубины теплообменника составляет:

– для теплообменника глубиной 200 м и его эксплуатации в течение 150 суток $q=33\text{ Вт/м}$

– при глубине 100 м и его эксплуатации в течение 2 суток $q=60\text{ Вт/м}$.

Поэтому оптимальной является ТСТ с двумя грунтовыми теплообменниками в вертикальных скважинах, работающих попеременно в циклическом режиме – одна скважина работает 24 часа, другая находится в простое для восстановления температурного поля вокруг скважины.

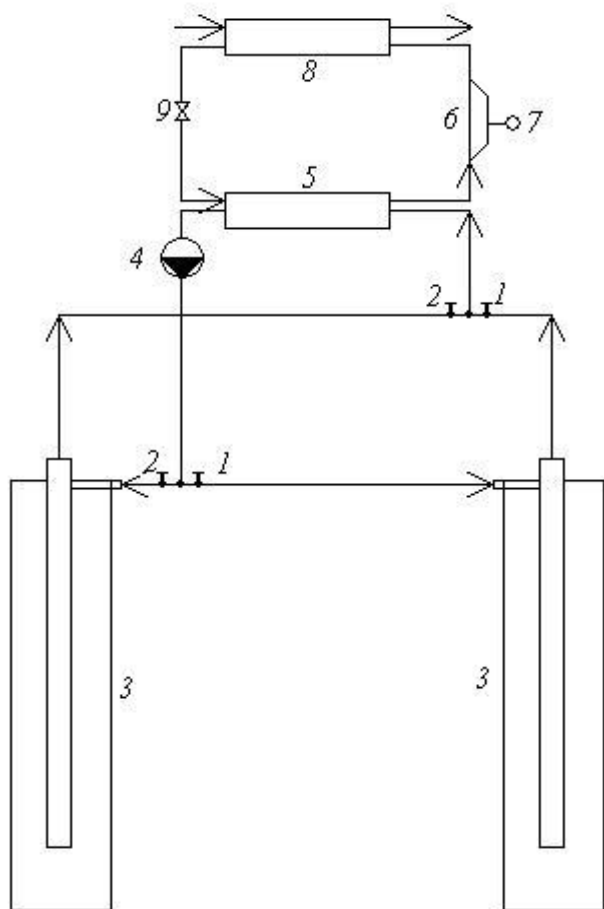


Рис. 3.4. Схема ТСТ с двумя вертикальными грунтовыми теплообменниками

- 1,2 – вентили;
- 3 – грунтовой теплообменник;
- 4 – насос;
- 5 – испаритель;
- 6 – компрессор;
- 7 – электродвигатель;
- 8 – конденсатор;
- 9 – дроссельный клапан.

3.4 Эколого-экономические аспекты использования тепловых насосов

Широкое развитие за рубежом тепловые насосы получили благодаря:

- 1) экономичности (для передачи в систему отопления 1 кВт тепловой энергии требуется $0,2 \text{ кВт}$ электроэнергии);
- 2) экологичности (топливо не сжигается и вредных выбросов не производится);
- 3) минимальному обслуживанию (для обслуживания ТНУ мощность до 10 МВт требуется один оператор в смену);
- 4) малому сроку окупаемости в связи с низкой себестоимостью производимого тепла.

Эффективности применения теплового насоса оценивается в сравнении с традиционными системами теплоснабжения. Так ТНУ расходует в 4 раза меньше топлива, чем угольная котельная.

По данным ЗАО «Энергия» (г. Новосибирск), производящего тепловые насосы и имеющего большой опыт их внедрения и эксплуатации, укрупненная стоимость ТНУ определяется исходя из ее тепловой мощности и равна 3500000 руб. за 1 Гкал/ч .

Срок окупаемости тепловых насосов составляет 1,5-2 года, а стоимость тепла составляет 40-50% от стоимости тепла ТЭЦ.

Неисчерпаемая, тепловая энергия Земли – одно из основных направлений будущей энергетики России. Она может и должна стать постоянным надежным источником обеспечения дешевыми и доступными электроэнергией и теплом при внедрении высоких экологически чистых технологий по ее извлечению и поставке потребителю.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называют тепловым насосом?
2. Какие источники низкопотенциальной теплоты можно использовать в теплонасосных установках?
3. Нарисуйте принципиальную схему теплового насоса и объясните как она работает.
4. По каким признакам классифицируются тепловые насосы?
5. Что такое хладагент теплового насоса и каких марок они бывают?
6. Нарисуйте схему теплонасосной системы теплоснабжения с горизонтальным коллектором и объясните ее работу.
7. Нарисуйте схему теплонасосной системы теплоснабжения с вертикальным коллектором и объясните ее работу.
8. От чего зависит эффективность ТНУ?
9. Возможны ли комбинации тепловых насосов с другими возобновляемыми источниками энергии?
10. По каким схемам возможны комбинации тепловых насосов с другими возобновляемыми источниками энергии?
11. Дайте определение коэффициента преобразования энергии (КПЭ) теплового насоса.
12. Напишите формулу КПЭ теплового насоса.
13. Чем отличается КПЭ от КПД?
14. Перечислите источники низкопотенциальной теплоты, которые можно использовать в ТНУ.
15. Нарисуйте схему теплонасосной системы теплоснабжения с двумя вертикальными грунтовыми теплообменниками.
16. Объясните при каких условиях необходимо использование схемы с двумя вертикальными теплообменниками.
17. Заинтересовано ли правительство России в развитии теплонасосных систем?

Глава 4. Использование термоэлектрической энергии

Термоэлектрическая энергия – неисчерпаемая, экологически безопасная, бесшумная, безаварийная и технологичная – привлекла повышенное внимание ученых и инженеров с целью ее широкого использования в удовлетворении энергетических потребностей человека.

Читателю не всегда понятен принцип действия термоэлектрических установок, поэтому изложение этого раздела начнем с физических основ термоэлектричества.

4.1 Физические основы термоэлектричества

Термоэлектричество базируется на четырех основных механизмах:

1. Эффект Фурье – теплопроводность. Это явление хорошо известно большинству читателей. Тепло может передаваться либо при движении носителей, либо при колебании кристаллической решетки. Теплопроводность «ответственна» за ухудшение коэффициента преобразования термопары.

2. Джоулевы потери. При протекании тока происходит выделение тепла, связанное с наличием электрического сопротивления. Этим явлением обусловлен второй механизм потерь в термопаре. Джоулевы потери возникают в результате рассеяния носителей заряда из-за несовершенства кристаллической решетки, которое обусловлено тепловыми вибрациями, наличием примесей, дислокацией и т.п.

3. Эффект Зеебека. Эффект проявляется в том, что в проводнике возникает электрическое напряжение, обусловленное наличием продольного градиента температур. Разность потенциалов является следствием того, что в холодной части проводника повышается концентрация носителей заряда.

4. Эффект Пельтье. Эффект проявляется в поглощении или выделении тепла в местах контакта различных проводников и обусловлен изменением теплоемкости носителей при их переходе

из одного материала в другой.

5. Эффект Томсона. Эффект обусловлен тепловой конвекцией при дрейфовом движении носителей.

6. Закон Видемана-Франца-Лоренца. Закон устанавливающий зависимость между теплопроводностью, электропроводностью и абсолютной температурой.

4.2 Теплопроводность твердых тел

В твердом теле тепло может распространяться при помощи двух различных механизмов:

1. Тепло переносится теми же носителями, которые ответственны за перенос электрического заряда. Соответствующая теплопроводность λ_c может быть названа теплопроводностью носителей тепла. Значение этой теплопроводности связано с электропроводностью по закону Видемана-Франца-Лоренца.

2. Тепло передается посредством колебаний кристаллической решетки (т.е. фононами). Этот способ передачи тепла называется решеточной теплопроводностью λ_L .

Первый механизм превалирует в металлах, так как для них характерно изобилие носителей, а решетка достаточно пластична. В полупроводниках наблюдается противоположная картина. Например, алмаз имеет незначительную концентрацию носителей и, как следствие, ничтожную электропроводность. Тем не менее теплопроводность алмаза в 11 раз больше, чем теплопроводность алюминия и в 30 раз больше, чем железа. Фактически алмаз является наилучшим проводником тепла из всех веществ, имеющих природное происхождение.

Общая теплопроводность твердого тела представляет собой сумму теплопроводности, обусловленной носителями тепла и решеточной теплопроводности $\lambda = \lambda_c + \lambda_L$.

4.3 Эффект Зеебека

Рассмотрим трубку, заполненную газом и имеющую

одинаковую по длине температуру. Давление и концентрация по длине тоже одинаковы. Если теперь один конец трубки нагреть, то повышение давления газа в нагретой части приведет к возникновению потока газа в сторону холодного конца трубки. В новом установившемся состоянии давление выровняется и перетекание газа прекратится. Согласно уравнению состояния для идеального газа $p=nKT$ и при постоянном движении произведение nT постоянно. Отсюда следует, что концентрация газа в холодном конце трубки будет больше, чем в горячем.

Электроны проводимости ведут себя так же, как и газ. При наличии температурного градиента их концентрация у холодного конца проводника будет выше, чем у горячего, и, следовательно, холодный конец проводника по отношению к горячему будет заряжен отрицательно. Результирующая разность потенциалов называется напряжением (ЭДС) Зеебека. Значение этого напряжения зависит как от разности температур, так и от природы проводника. Если носителями заряда в проводнике являются дырки, то холодный конец будет положительно заряжен по отношению к горячему. По этой причине полярность Зеебека зависит от материала проводника.

Для того чтобы снять напряжение, возникающее в проводнике, необходимо внешнее соединение. Однако соединительный провод будет иметь тот же градиент температуры, что и основной проводник, а следовательно, в нем возникает собственная ЭДС Зеебека. Если внешний соединительный провод сделан из того же материала, что и основной, то напряжения обоих проводников в точности компенсируют одно другое. В случае, если соединены проводники из разных материалов, возникнет некая результирующая разность потенциалов.

Термопара представляет собой соединение двух различных материалов, причем чаще всего соединяют материалы, имеющие противоположную полярность эффекта Зеебека, что приводит к сложению ЭДС Зеебека двух используемых материалов. Поскольку внешние соединительные провода подключаются к свободным концам термопары, которые обычно имеют

одинаковую температуру, то дополнительного напряжения Зеебека за счет соединительных проводов не возникает.

Термопары обладающие низким полным сопротивлением (небольшое напряжение и относительно большой ток) и в большинстве приложений соединяются последовательно, формируя термоэлектрическую батарею (рис. 4.1 и рис. 4.2).

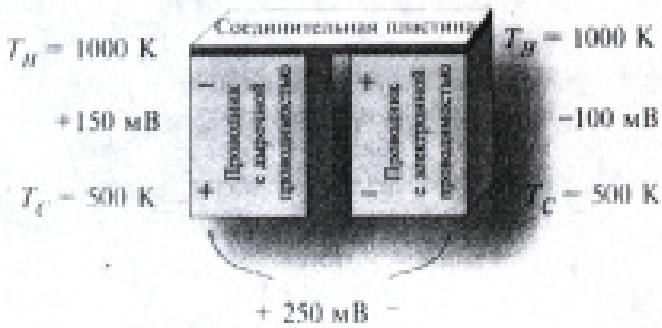


Рис. 4.1. Термопара из двух материалов с проводимостью различного типа

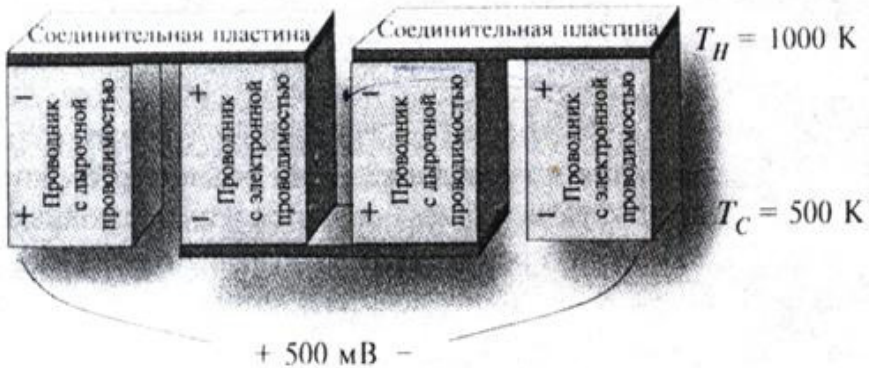


Рис. 4.2. Термопары, соединенные последовательно в батарею

В термоэлектрических батареях индивидуальные элементы (термопары) электрически соединены последовательно, а в тепловом отношении – параллельно. В таком случае, если теплопроводность одного элемента равна A , то теплопроводность батареи, состоящей из n элементов равна nA . Аналогичным образом электрическое сопротивление батареи равно nR , если R – сопротивление одной ячейки. Разность потенциалов, генерируемая при разности температур в 1°C (эквивалент α для одного элемента) в данном случае равна $n\alpha$.

4.4 Эффект Пельтье

Рассмотрим два различных проводника a и b с одинаковой площадью поперечного сечения A , которые соединены, как это показано на рис. 4.3. Поверхность S является контактной поверхностью проводников. Оба проводника имеют одинаковую температуру T , и через них протекает электрический ток I . Пусть теплоемкость электронов в проводнике a равна c_a , а в проводнике b – c_b . Тогда тепловая энергия, которой обладает электрон, в каждом проводнике равна $c_a T$ и $c_b T$ соответственно. В случае, если электроны имеют максвелловское распределение по скоростям, то $c_a T = c_b T = \frac{3}{2} kT$.

Электрический ток, протекающий через контактную поверхность S , в каждом направлении

$$I = qnvA$$

В проводнике a вместе с электрическим током в направлении контактной поверхности переносится поток тепловой энергии,

$$P_a = nvAc_a T$$

а в проводнике b от контактной поверхности уносится поток тепловой энергии

$$P_b = nvAc_b T.$$

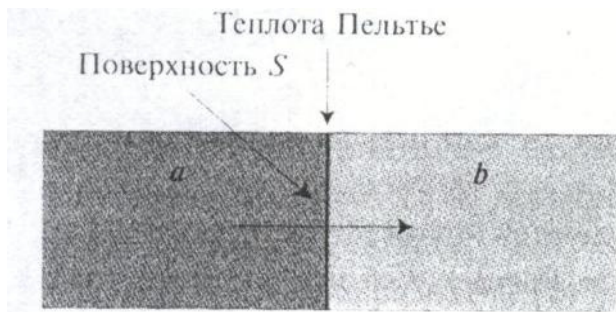


Рис. 4.3. Перенос тепла посредством электрического тока

Если $P_a > P_b$, то на поверхности контакта двух проводников тепловая энергия должна отводиться в окружающую среду и ее поток будет равен

$$P = P_a - P_b = n\nu AT(c_a - c_b) = \frac{T}{q}(c_a - c_b)J = \pi J,$$

где π – коэффициент Пельтье = $\frac{T}{q}(c_a - c_b)$

Если электроны имеют максвелловское распределение по скоростям, то в рамках изложенной модели коэффициент Пельтье π будет равен нулю, поскольку в этом случае $c_a = c_b$. Однако основываясь на факте существования эффекта Пельтье, следует сделать вывод, что в материалах используемых для изготовления термопар, электронный газ не подчиняется распределению Максвелла.

4.5 Эффект Томсона

Рассмотрим одномерный газ, о теплопроводности которого мы уже говорили выше. Теперь нам нужно вывести формулу для конвективного переноса тепла. На время пренебрежем эффектом теплопроводности, поскольку при необходимости его можно просто наложить на результат, который будет получен.

Предположим, что имеется некий поток $n\nu$ молекул и что

температура неодинакова вдоль столба газа. Рассмотрим три соседние точки: 1, 2 и 3. Каждая молекула, которая движется из точки 1 в точку 2, переносит энергию, равную cT_1 . Здесь c – среднее значение теплоемкости молекулы (т.е. $c = \frac{1}{N}$ от теплоемкости,

которой обладают N молекул). Каждой молекуле, которая достигла точки 2, придя из точки 1, можно поставить в соответствие другую молекулу, которая покинула точку 2 и направляется к точке 3, перенося энергию с T_2 . Таким образом увеличение энергии (джоули в секунду на единицу площади) в точке 2 вследствие потока газа составит $c(T_1 - T_2)nv$.

Если расстояние между точками 1 и 2 бесконечно мало, то $T_1 - T_2 = dT$ и поток энергии (Bm/m^2)

$$dP = -c n v dT,$$

где P – плотность мощности. Если вместо столба газа мы рассмотрим проводник с электронной проводимостью, то тепло переносится электронами и, следовательно, $J = q n v$,

$$dP = -\frac{J}{q} c dT$$

или

$$dP = -\frac{1}{q} c dT.$$

Полученное выражение можно переписать как

$$dP = \tau dT,$$

где τ – коэффициент Томсона, измеряемый в вольтах на Кельвин.

Очевидно, что

$$\tau = -\frac{c}{q}$$

Для проводников, в которых для носителей справедливо

распределение Максвелла, $c = \frac{3}{2}K$ и коэффициент Томсона

$$\tau = -\frac{3}{2} \frac{K}{q} = -129 \text{ мкВ/К}$$

Многие полупроводники должны иметь коэффициент Томсона на уровне -100 мкВ/К . Однако для более точного расчета этого коэффициента необходимо принимать во внимание влияние дырочной проводимости.

4.6 Закон Видемана-Франца-Лоренца

В середине XIX века экспериментально было доказано, что для металлов отношение λ/σ является постоянной величиной. Зная это отношение, можно определить теплопроводность любого металла, измерив его электрическое сопротивление, что довольно просто. Закон, устанавливающий зависимость между теплопроводностью, электропроводностью и абсолютной температурой, получил название закона Видемана-Франца-Лоренца, и его справедливость доказывается на основе классической модели электропроводности.

Рассмотрим теплопроводность одномерного газа, в котором имеется продольный температурный градиент (рис. 4.4). Поверхность A , находящаяся в начале координат, перпендикулярна направлению движения молекул. Примем, что суммарный поток массы через эту поверхность равен нулю. Тогда

$$n_1 v_1 + n_2 v_2 = 0$$

l – длина свободного пробега молекул. Молекулы движущиеся слева и пересекающие поверхность A , приходят в среднем из точки с координатой $-l/2$.

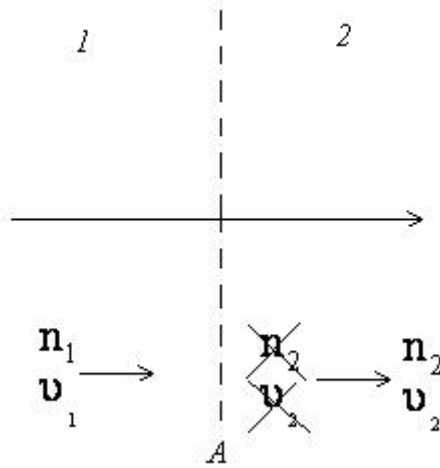


Рис. 4.4. Теплопроводность в одномерном газе

Пусть их кинетическая энергия равна $U_{(-l/2)}$. Тогда молекулы, пересекающие плоскость A справа, имеют кинетическую энергию $U_{(l/2)}$. Половина молекул движется направо, а другая половина налево. Суммарный энергетический поток, т.е. плотность энергии, Bm/m^2 ,

$$p = \frac{nv}{2} [U_{(-l/2)} - U_{(l/2)}] = -\frac{nv}{2} \frac{\partial U}{\partial x} l.$$

Энергия каждой молекулы равна $\frac{1}{2} kT$, поэтому

$$p = -\frac{nv}{4} k \frac{\partial T}{\partial x} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x},$$

где λ – теплопроводность.

Если предполагать, что в металлах тепло переносится только с помощью электронов и каждый электрон переносит $\frac{1}{3} kT$ единиц энергии, то теплопроводность металла будет равна

$$\lambda = \frac{3nvlk}{4}$$

Коэффициент 3 учитывает тот факт, что реальный газ

является трехмерным, и электроны имеют три степени свободы.

Теперь рассмотрим электрическую проводимость

$$\sigma = qn\mu,$$

где μ – проводимость, т.е. скорость носителя заряда, соответствующая единичному значению электрического поля, вызывающего это движение. Другими словами, это отношение дрейфовой скорости v_d к величине электрического поля E :

$$\mu = v_d / E$$

В предположении, что соударения изотропны, скорость электрона после каждого соударения статически равна нулю (поскольку все направления движения равновероятны). В этом случае средняя скорость дрейфа электрона будет равна $1/2 at$, где a – ускорение, qE/m , а t – среднее время свободного пробега $1/v$. Зная, что тепловая скорость электрона v много больше скорости дрейфа v_d

$$\mu = ql / 2mv$$

и

$$\sigma = q^2 nl / 2mv$$

таким образом отношение

$$\lambda / \sigma = 3mv^2 k / 2q^2 = 3k^2 T / 2q^2,$$

поскольку $mv^2 = kT$.

Точное выражение для искомого отношения имеет вид

$$\lambda / \sigma = \pi^2 / 3 (k^2 T / q^2) = LT = 2,44 \cdot 10^{-8} T.$$

Это выражение называется законом Видемана-Франца-Лоренца,

а постоянная $L = 2,44 \cdot 10^{-8} (B/k)^2$ – числом Лоренца.

Из этого закона следует, что если уменьшать поток тепла,

применяя материалы с более низкой теплопроводностью, то это приведет к автоматическому увеличению электрического сопротивления термопары, поскольку существует прямо пропорциональная зависимость между λ и σ .

4.7 Анализ экспериментов

Рассмотрим теплопроводящий стержень, торцы которого имеют различную температуру – T_H и T_C . В этом случае с одного торца в стержень будет входить некий тепловой поток мощностью P_{HF} , а с другого торца из стержня будет выходить тепловой поток мощностью P_{CF} . Если боковая поверхность стержня идеально теплоизолирована, то тепловой поток через нее отсутствует, и

$$P_{HF} = P_{CF} = A(T_H - T_C), \text{ где}$$

A – теплопроводность стержня, Bm/K в системе СИ, $A = (A/l) \lambda$, где A – площадь сечения; l – его длина; λ – коэффициент теплопроводности, Bm/K в системе СИ. Индекс F в обозначениях принят в связи с тем, что явление теплопроводности называют эффектом Фурье.

Теперь предположим, что стержень имеет одинаковую по длине фиксированную температуру, но за счет нагрева посредством электрического тока его температура выше, чем температура тел, которые соприкасаются с торцами стержня. В этом случае тепловой поток будет выходить из стержня. Тепловая мощность, выделяющаяся в стержне вследствие протекающего электрического тока, равна RI^2 , где R – электрическое сопротивление стержня. При этом половина выделившегося тепла будет уходить через один торец стержня и половина через другой:

$$P_{HJ} = P_{CJ} = \frac{1}{2} RI^2$$

Индекс J указывает на то, что выделение тепла обусловлено эффектом Джоуля. Заметим, что направление тепловых потоков на рис. 4.5 и рис. 4.6 различаются.

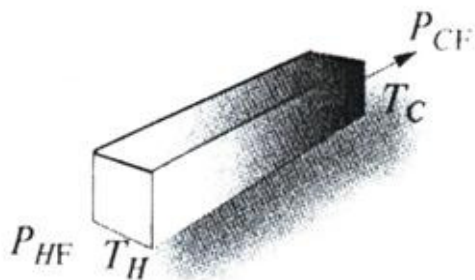


Рис.4.5. Стержень с разными температурами на торцах

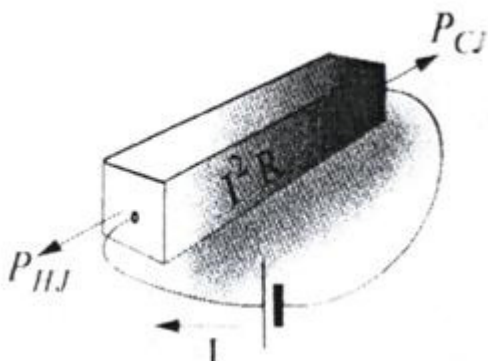


Рис.4.6. Стержень, нагреваемый электрическим током

Если вдоль стержня имеется градиент температуры и через него протекает электрический ток, то мы имеем суперпозицию эффектов Фурье и Джоуля:



$$P_H = \Lambda(T_H - T_C) - 1/2 RP^2,$$

$$P_C = \Lambda(T_H - T_C) + 1/2 RP^2.$$

Здесь в качестве положительного направления теплового потока выбрано направление указанное на рис. 4.5.

Рассмотрим термопару, состоящую из двух различных по свойствам материалов, соединенных между собой. Эти материалы (стержни *A* и *B* на рис. 4.7) могут непосредственно соприкасаться, либо быть соединены с помощью металлической пластины, как показано на рисунке. До тех пор, пока металлическая пластина имеет постоянную температуру, она не оказывает никакого влияния на характеристики термопары. Свободные концы стержней *A* и *B* подсоединены к источнику тока.

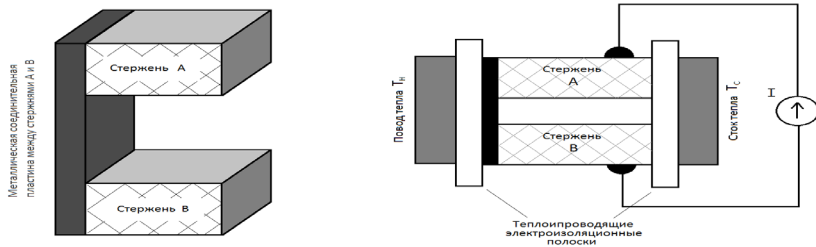


Рис. 4.7. Простая термопара (слева) и тестовая конструкция (справа)

Если соединительные провода имеют постоянную температуру, то они также не оказывают никакого влияния. Пусть место контакта (спай) двух материалов, а также их свободные торцы термически связаны с двумя тепловыми резервуарами, которые имеют постоянную температуру. Резервуар, соприкасающийся со спаем материалов, является источником тепла (далее нагреватель), и его температура T_n . Другой резервуар является поглотителем тепла (далее холодильник) и его температура T_c . Будем считать, что нагреватель и холодильник электрически изолированы от термопары.

Полагаем, что термопара теплоизолирована от окружающей среды, так что она может обмениваться теплом только с нагревателем и холодильником. Если измерить зависимость P_n

от $(T_H - T_C)$ при отсутствии электрического тока через термопару, то величина P_H будет пропорциональна разности температур

$$P_H = \lambda(T_H - T_C).$$

Взяв в качестве примера $\lambda = 4,18 \text{ Вт/К}$, получаем

$$P_H = 4,18(T_H - T_C).$$

Если через термопару, обладающую электрическим сопротивлением R , протекает электрический ток I , то

$$P_H = 4,18(T_H - T_C) - I^2 R,$$

если сопротивление термопары $R = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$, $T_H = 1500 \text{ К}$ и $T_C = 1000 \text{ К}$, то

$$P_H = 2090 - 1,3 \cdot 10^{-4} I^2.$$

Полученная зависимость P_H от I показана на рис. 4.8 штриховой линией.

Экспериментально установлено, что значение P_H зависит не только от величины тока, но и от его направления. Экспериментально установленная зависимость P_H от направления I для некоторой термопары представлена на рис. 4.8 сплошной линией. Данная зависимость описывается полиномом второй степени:

$$P_H = 2090 + 1,8 \cdot I - 1,3 \cdot 10^{-4} I^2.$$

Первый член в уравнении описывает теплопроводность и не зависит от значения тока. Третий член описывает джоулев нагрев $1,3 \cdot 10^{-4} I^2$. Второй член уравнения пропорционален значению тока.

Из этого следует, что если ток течет в одном направлении и и тепловой поток направлен от нагревателя к холодильнику, то при перемене направления тока изменится и направление переноса тепла. Очевидно, что электрический ток переносит тепловую энергию. Явление обращения переноса тепла и есть эффект Пельтье.

Если к термопаре вместо генератора тока присоединить

вольтметр, то можно измерить зависимость получаемой электродвижущей силы (ЭДС) V от разности температур нагревателя и холодильника $\Delta T = T_H - T_C$. Эта зависимость является нелинейной.

На рис. 4.9 представлена зависимость ЭДС термопары от температуры нагревателя T_H в предположении, что температура холодильника T_C поддерживается постоянной и равной $173,3^\circ\text{K}$.

Коэффициент Зеебека α определяется как тангенс угла наклона кривой V от оси T_H и слабо зависит от температуры

$$\alpha = \frac{\alpha V}{\alpha T}$$

Связь коэффициентов Пельте и Зеебека выражается соотношением

$$\pi = \alpha T$$

Таким образом коэффициент Пельтье сильно зависит от температуры.

Электродвижущая сила, развиваемая термопарой, выражается как

$$V = \int_{T_C}^{T_H} \alpha dT,$$

или если применять коэффициент Зеебека равным $\langle \alpha \rangle$, то

$$V = \langle \alpha \rangle (T_H - T_C)$$

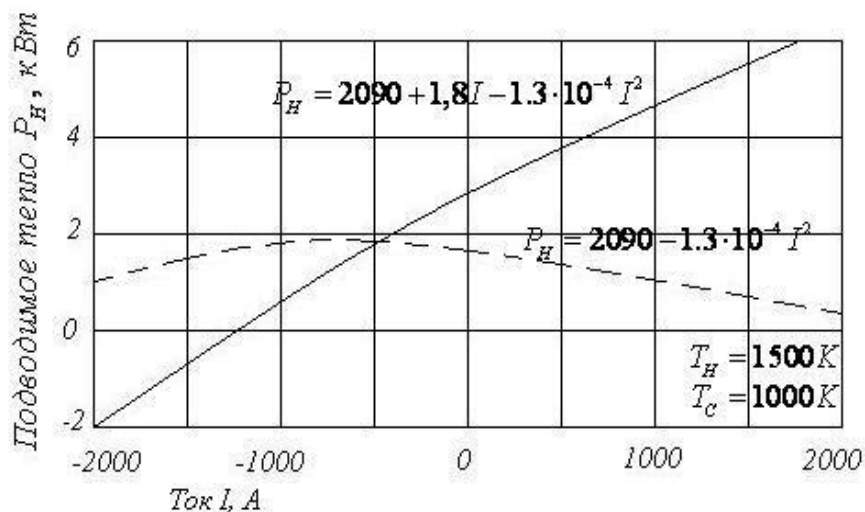


Рис. 4.8 Зависимость между мощностью подводимого теплового потока P_H силой тока I для термопары

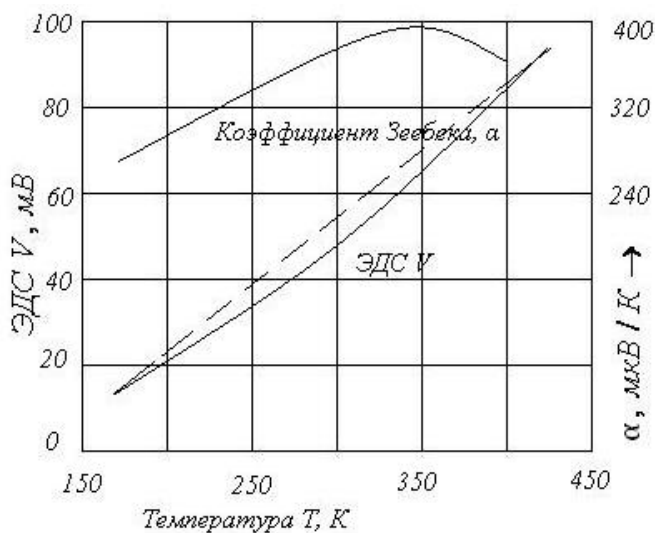


Рис. 4.9 Зависимость ЭДС и коэффициента Зеебека от температуры

4.8 Термоэлектрический генератор

Способность термопары генерировать электрический ток при имеющей место разности температур на ее концах можно использовать для создания тепловой машины, которая преобразует тепловую энергию непосредственно в электрическую. Эффективность такого преобразования, как и любой тепловой машины ограничена эффективностью цикла Карно и поэтому может быть представлена в форме

$$\eta = (T_H - T_C) \eta' / T_H,$$

где η' зависит от геометрических параметров устройства, свойств материалов и согласования генератора с нагрузкой.

Рассмотрим простейшую термопару, схема которой показана на рис. 4.10. Ее электрическое сопротивление R и теплопроводность Λ можно выразить следующим образом:

$$R = l_A / A_A \sigma_A + l_B / A_B \sigma_B,$$
$$\Lambda = A_A \lambda_A / l_A + A_B \lambda_B / l_B,$$

где A – площадь поперечного сечения каждого стержня; l – длина каждого стержня; σ – удельная электропроводность; λ – удельная теплопроводность. Заметим, что стержни в термопаре расположены параллельно на таком расстоянии, что тепловой поток распределен практически равномерно, а электрический ток проходит последовательно сначала через один стержень, а затем через другой (рис. 4.10.).

Если через термопару проходит ток I , то мощность теплового потока, входящего в термопару от источника тепла, равна

$$P_H = \Lambda(T_H - T_C) + \pi I - \frac{1}{2} R I^2,$$

здесь π – коэффициент Пельтье, который в данном случае пропорционален T_H . Таким образом,

$$P_H = \Lambda(T_H - T_C) + \alpha T_H I - \frac{1}{2} R I^2.$$

Ток, протекающий через нагрузку,

$$I = \frac{\alpha(T_H - T_C)}{R + R_L},$$

и следовательно, мощность выделяющаяся на нагрузке, можно получить

$$P_L = \frac{\alpha^2 (T_H - T_C)^2 R_L}{(R + R_L)^2}.$$

Коэффициент добротности термопары Z определяется как

$$Z = \frac{\alpha^2}{\Lambda R}.$$

Коэффициент Z имеет размерность обратной температуры, поэтому в системе СИ она измеряется в кельвинах в минус первой степени.

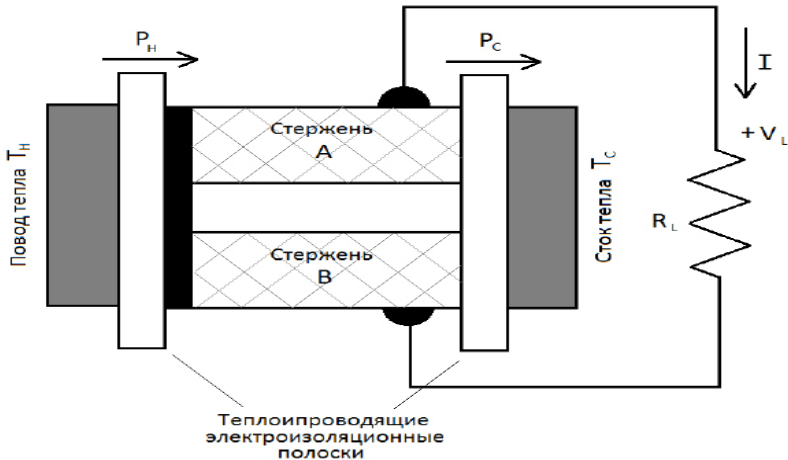


Рис.4.10. Термопара как термоэлектрический генератор

Внутренние характеристики термопары «спрятаны» в Z . Чем больше Z тем выше эффективность термопары.

Для того чтобы получить высокое значение добротности Z , необходимо выбирать материалы для термопары с большим значением коэффициента Зеебека. Желательно также, чтобы произведение AR было как можно меньше. Эта цель может быть достигнута путем выбора как соответствующего материала термопар, так и геометрических параметров устройства. Уменьшение длины и увеличение поперечного сечения стержня приведет к снижению электрического сопротивления R , однако теплопроводность A при этом увеличивается. Увеличение длины и уменьшение сечения приведет к уменьшению теплопроводности, но сопротивление при этом возрастет. Можно выбрать геометрические параметры при которых произведение AR минимально. Этот минимум будет иметь место, когда геометрия устройства удовлетворяет следующему соотношению:

$$\frac{l_A A_B}{l_B A_A} = \sqrt{\frac{\lambda_A \sigma_A}{\lambda_B \sigma_B}}.$$

При этом условии:

$$\Delta R = [(\lambda_A / \sigma_A)^{1/2} + (\lambda_B / \sigma_B)^{1/2}]^2.$$

Максимальную эффективность термоэлектрического генератора можно получить при правильном выборе значения нагрузки R_L , которая выражается как $R_L = mR$. Отсюда следует, что нужно подобрать соответствующее значение m :

$$m = \sqrt{1 + \langle T \rangle Z},$$

где $\langle T \rangle = (T_H + T_C) / 2$

Суммируя все вышеизложенное, приходим к заключению, что существуют три различных способа оптимизации эффективности термоэлектрических генераторов:

1) выбор материалов, обеспечивающих высокое значение добротности Z ;

- 2) выбор геометрических параметров, соответствующих минимальному значению произведения AR ;
- 3) выбор соответствующего сопротивления нагрузки по отношению к внутреннему сопротивлению устройства, т.е. выбор оптимального значения m .

4.9 Расчет термоэлектрического генератора

Термоэлектрический генератор имеет выходную мощность 100 кВт при напряжении на выводах 115 В . Температура его горячей стенки 1500 К , а температура холодной – 1000 К . При такой достаточно высокой температуре холодной стенки термоэлектрический генератор может быть установлен на паросиловой установке в качестве надстройки к обычному тепловому циклу.

Характеристики материалов термопары следующие:

- коэффициент Зеебека (усредненный по рабочему диапазону температур) – $0,0005 \text{ В/К}$.
- электрическое сопротивление ветви A – $0,002 \text{ Ом}\cdot\text{см}$;
- электрическое сопротивление ветви B – $0,003 \text{ Ом}\cdot\text{см}$;
- теплопроводность ветви A – $0,032 \text{ Вт}/(\text{см}\cdot\text{К})$;
- теплопроводность ветви B – $0,021 \text{ Вт}/(\text{см}\cdot\text{К})$;
- максимально возможная плотность электрического тока – $100 \text{ А}/\text{см}^2$.

Для простоты примем, что длина ветвей A и B одинакова (при этом площади их поперечного сечения могут быть разными).
 Определить:

- 1) максимальную тепловую эффективность;
- 2) число последовательно соединенных термопар;
- 3) размеры каждой из ветвей термопары (A и B);
- 4) электродвижущую силу (ЭДС);
- 5) тепловую мощность на входе и на выходе при полной (максимальной) нагрузке; без нагрузки.

Решение:

Обозначим ЭДС одной термопары через V_{oc} ,

$$V_{oc} = \alpha(T_H - T_C) = 0,0005(1500 - 1000) = 0,25 \text{ В}$$

Пусть I – ток, проходящий через каждую термопару (он равен суммарному току, поскольку термопары соединены последовательно),

$$I = 100000 \text{ Вм} / 115 \text{ В} = 870 \text{ А}$$

Если последовательно соединены n термопар, каждая из которых имеет сопротивление R , то

$$nV_{oc} - nRI = 115 \text{ В}$$

Для того чтобы определить n , необходимо знать R . При максимальной эффективности нагрузка R_L должна быть равна

mR_{batt} , или $R_L = mnR$, где $m = \sqrt{1 + \langle T \rangle Z}$. Здесь R – сопротивление одной термопары, а R_{batt} – сопротивление всей батареи последовательно соединенных термопар, которое равно nR .

В данном случае

$$R_L = 115 \text{ В} / 870 \text{ А} = 0,132 \text{ Ом},$$

$$Z = \alpha^2 / (\Delta R),$$

$$\Delta R = [\sqrt{\lambda_A \rho_A} + \sqrt{\lambda_B \rho_B}]^2 = [\sqrt{0,32 \cdot 0,002} + \sqrt{0,021 \cdot 0,003}]^2 = 254 \cdot 10^{-6} \text{ В}^2 / \text{К},$$

$$Z = \frac{0,0005^2}{254 \cdot 10^{-6}} = 980 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1},$$

$$\langle T \rangle = \frac{1500 + 1000}{2} = 1250 \text{ К},$$

$$m = \sqrt{1 + 980 \cdot 10^{-6} \cdot 1250} = 1,49,$$

$$nR = \frac{R_L}{m} = \frac{0,132}{1,49} = 0,0886 \text{ Ом},$$

$$n = \frac{115 + nRI}{V_{oc}} = \frac{115 + 0,0886 \cdot 870}{0,25} = 768,3.$$

Таким образом, в батарее необходимо последовательно установить 768 термопар.

$$V_{oc} = \text{ЭДС батареи термопар} = nV_{oc} = 0,25 \cdot 768 = 192 \text{ В},$$

$$P_{Hno \text{ load}} = A_{batt} (T_H - T_C),$$

$A_{batt} = nA$, потому что исходя из теплопередачи термопары

установлены параллельно.

$$\Lambda = \frac{\Lambda R}{R} = \frac{254 \cdot 10^{-6}}{0,0886 / 768} = 2,20 \text{ Вт/К},$$

$$\Lambda_{batt} = 768 \cdot 2,20 = 1690 \text{ Вт/К},$$

$$P_{Hno \text{ load}} = 1690(1500 - 100) = 846 \text{ кВт},$$

$$P_{Cno \text{ load}} = 846 \text{ кВт},$$

$$P_{H \text{ full load}} = 846 + n\alpha T_H I - \frac{1}{2} I^2 nR =$$

$$= 846 + 768 \cdot 0,0005 \cdot 1500 \cdot 870 \cdot 10^{-3} - \frac{1}{2} 870^2 \cdot 0,0886 \cdot 10^{-3} = 1310 \text{ кВт},$$

$$\eta = \frac{100}{P_H} = \frac{100}{1310} = 0,076,$$

$$P_{C \text{ full load}} = P_H - 100 = 1300 - 100 = 1210 \text{ кВт}.$$

Поскольку длина ветвей в термопаре одинакова, то

$$\frac{A_B}{A_A} = \sqrt{\frac{\lambda_A \rho_B}{\lambda_B \rho_A}} = \sqrt{\frac{0,032 \cdot 0,003}{0,021 \cdot 0,002}} = 1,51.$$

При $I_{max} = 100 \text{ А/см}^2$ площадь меньшего из двух сечений A_A должна быть равна $870/100 = 8,7 \text{ см}^2$. Площадь большого сечения $A_B = 1,51 \cdot 8,7 = 13,1 \text{ см}^2$. Электрическое сопротивление каждой термопары

$$R = \frac{nR}{n} = \frac{0,0866}{768} = 0,000115 \text{ Ом}$$

$$0,000115 = \rho_A \frac{l}{A_A} + \rho_B \frac{l}{A_B} = \left(\frac{0,002}{8,7} + \frac{0,003}{13,2} \right) l,$$

откуда получаем $l = 0,36 \text{ см}$.

Если тепловой поток, выходящий из термоэлектрического генератора при температуре 2000°C , то электрическая мощность, генерируемая ею, будет равна $0,3 \cdot 1210 = 363 \text{ кВт}$. С учетом 100 кВт ,

которые мы получаем от термобатареи, суммарная вырабатываемая мощность составляет 463 кВт и эффективность преобразования

$$\eta = \frac{463}{1310} = 0,35.$$

Таким образом, очевидно, что термоэлектрический генератор может быть использован как вполне приемлемый надстроечный цикл.

4.10 Сферы применения термоэлектрических генераторов

Высокая надежность и простота устройства термоэлектрических генераторов делают их применение предпочтительным в тех случаях, когда возможность многолетней работы электрогенератора без обслуживания, без смены топлива, без потери мощности более важна, чем его КПД. Поэтому термоэлектрические генераторы применяются:

1. В энергетических модулях космических кораблей, находящихся на удаленных от Солнца орбитах, где фотоэлектрические преобразователи уже неэффективны.
2. В надстроечных циклах стационарных электростанций.
3. Как электрогенераторы для нефтедобывающих станций (включая морские платформы).
4. Как источники электроэнергии необходимой для открытия клапанов в топочных газонагревательных системах. После зажигания растопочного факела термоэлектрические генераторы начинают вырабатывать электроэнергию, которая подается на механизмы открытия главного клапана подачи газа.
5. Как аварийные источники электроэнергии широкого диапазона использования.

Тепло, необходимое для работы термоэлектрогенераторов, может быть получено от различных источников:

- от сжигания различных топлив;
- от ядерных реакций;

- от химических реакций;
- промышленные вентиляционные выбросы;
- и т.д.

Колоссальным преимуществом термоэлектрогенераторов перед всеми остальными возобновляемыми источниками энергии являются его чрезвычайно малая масса, особенно если учесть, что она включает в себя не только генератор, но и «топливо» необходимое для многолетнего функционирования.

Даже самый легкий из всех возможных бензиновых двигателей будет на порядок тяжелее теплоэлектрогенератора той же мощности. Поэтому по прогнозам экспертов термоэлектрогенераторы – одно из перспективных направлений нетрадиционной возобновляемой энергетики.

4.11 Термоэлектрические генераторы компании ASEA Brown Boveri

В расположенных в Германии лабораториях ASEA Brown Boveri (ABB) ведется разработка термоэлектрических генераторов типа Amtec, представляющих собой дешевые и компактные установки с КПД в диапазоне 35...45%, мощности которых будут вырабатывать от нескольких ватт до нескольких мегаватт. Предполагается что такие генераторы будут работать от любого источника тепловой энергии.

Схема электрогенераторов типа Anites показана на рис. 4.1.

Пары натрия 4 высокого давления при температуре 800...1000°C отделены от нагреваемых паров низкого давления (температура 200...300°C) мембраной 6 из бета-глинозема. Градиент давления заставляет двигаться ионы натрия через мембрану 6, при этом мембрана действует как фильтр, пропускающий ионы натрия, но задерживающий электроны внешнего электронного слоя на стороне зоны высокого давления. Таким образом, сторона мембраны обращенная к зоне высокого давления, заряжается отрицательно, а противоположная сторона – положительно, что создает разность потенциалов между электродами 5, к которым

может быть подключена электрическая нагрузка.

Остаются пока не решенными несколько проблем, самой трудной из которых является выбор материалов и конструкции электродов 5. Эти электроды должны иметь хорошую электрическую проводимость, устойчивость против коррозии в парах натрия, малую испаряемость при температуре 1000°C , высокую проницаемость для паров натрия и должны образовывать жесткую форму для мембраны с малым контактным сопротивлением между ними. Этим требованиям соответствуют лишь некоторые металлы и сплавы.

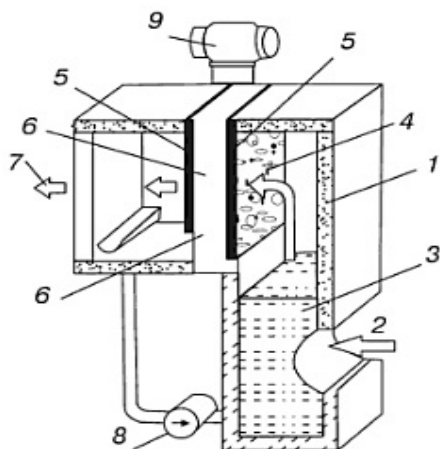


Рис. 4.1. ТЭП типа Amtec

1 – теплоизоляция; 2 – вход тепла; 3 – жидкий натрий; 4 – пары натрия; 5 – электрод; 6 – мембрана из бета-глинозема; 7 – отвод тепла через конденсатор; 8 – насос; 9 – электрическая нагрузка.

Вопросы для самоконтроля

1. Объясните явление теплопроводности твердых тел.
2. Перечислите основные физические механизмы термоэлектричества.
3. В чем суть эффекта Зеебека?
4. Что обозначает коэффициент Зеебека?
5. Объясните физический смысл эффекта Пельтье.
6. Что обозначает коэффициент Пельтье?
7. Объясните физический смысл эффекта Томсона.
8. Что обозначает коэффициент Томсона?
9. Раскройте суть закона Видемана-Франца-Лоренца.
10. Напишите формулу закона Видемана-Франца-Лоренца.
11. Что обозначает число Лоренца?
12. Нарисуйте схему термопар, соединенных последовательно в батарею.
13. Объясните конструкцию и работу термоэлектрического генератора.
14. Где применяются термоэлектрические генераторы?
15. Какие основные параметры определяются расчетом термоэлектрического генератора.
16. Объясните принцип действия термоэлектрического генератора Brown Boveri компании ASEA.
17. Заинтересовано ли правительство России в развитии термоэлектрических генераторов?

Глава 5. Топливные элементы

5.1 Введение

В середине XX века Виктор Шаубергер показал и доказал своими открытиями, что человечество выбрало неверный путь в своем техническом развитии. Человечество для удовлетворения своих энергетических потребностей взяло за основу разрушение – взрыв, или как говорил Шаубергер – эксплозию. А вся Природа построена на имплозии – концентрации энергии пространства (синтезе, созидании).

Действительно как можно было разрушение взять за основу созидания?

Только материализм современного человечества и плоско-параллельное мышление людей занимающихся наукой и людей, создающих технику, могли отбросить великие открытия Шаубергера.

Если бы имплозия Шаубергера была воспрята и осознана человечеством, то начало XXI века человечество встретило бы не глобальным кризисом, а глобальным расцветом и научно-техническим и социальным.

Девятнадцатый век принято считать веком машиностроения, XX век веком электроника, а XXI – веком биологии. А на самом деле XX можно назвать веком механических тепловых машин. Если подсчитать количество промышленных машин и механизмов работающих на основе взрыва – двигателей внутреннего сгорания: грузовиков, легковых автомобилей, автобусов, железнодорожных локомотивов, строительной и дорожной техники самолетов, кораблей и наконец мотоциклов произведенных в период с 1900 по 1999 г., в одной только Америке, то получается около 2 млрд. единиц техники.

Вся эта техника относится к механическим тепловым машинам, использующим теплоту, которая выделяется при взрыве смеси химического вещества (топлива) с кислородом (обычно с кислородом, содержащимся в воздухе). Тепловая энергия взрыва

преобразуется в механическую энергию с помощью сложнейшего и громоздкого механического оборудования. Такая схема по своей сути ошибочна, громоздка и неэффективна. Она является результатом нашего невежества, незнания законов Природы и нежелания их знать, иначе в основе двигателей техники XX века лежала бы имплозия Шаубергера – энергетический синтез Природы – синтез энергии из окружающей среды.

Если принять во внимание электрическую природу химической связи, соединяющей атомы в молекуле, то преобразование химической энергии непосредственно в электрическую – более простой, высокоэнергетичный, бесшумный, экологически безопасный и чрезвычайно перспективный способ получения энергии. Именно этот способ – преобразование химической энергии в электрическую использует Природа, организуя внутренние процессы в биологических организмах.

С большим удовлетворением можно отметить начало работ по созданию топливных элементов, которые представляют собой чрезвычайно эффективное направление в нетрадиционной энергетике человечества. Это направление является ярким примером создания энергетической технологии как органичного продолжения естественного природного процесса – генерация электроэнергии в биологическом организме.

5.2 Концепция топливных элементов

Топливный элемент (ТЭ) – это химический источник электрического тока, его простейшим аналогом является обычная электрическая батарейка. Внутри ТЭ расположены 2 электрода, между которыми находятся мембрана и катализатор.

В ТЭ водород соединяется с кислородом и производит электричество, при этом конечным продуктом является вода – источник водорода, так что процесс получается возобновляемым и экологически чистым. В ТЭ реализуется разомкнутый процесс (близкий к изотермическому), а не цикл Карно и ограничения и расчеты связанные с КПД цикла, здесь неприемлемы.

Теоретически вся химическая энергия топлива может быть превращена в ТЭ в электричество.

Теоретический КПД водород – кислородного ТЭ, рассчитанный как отношение произведенной электроэнергии к теплоте реакции близок к единице. ТЭ уже давно и успешно используются на борту космических кораблей для производства электричества и воды для космонавтов. Электростанция на ТЭ мощностью 4,5 МВт успешно работает в Японии с 1984 года.

Трудность реализации ТЭ заключается в необходимости осуществления реакции топлива с окислителем электрохимическим путем, для чего оба компонента в начале должны быть превращены в ионы. В ТЭ ионизация топлива и окислителя (водорода и кислорода) осуществляется при умеренных температурах за счет применения активных катализаторов на основе металлов платиновой группы.

5.3 Электрические процессы в топливных элементах

Назначение электрохимических элементов заключается в обеспечении движения электронов во внешней цепи, в которую включена полезная нагрузка. Таким образом для выполнения своей задачи топливный элемент должен содержать источник и сток электронов (Рис. 5.1).

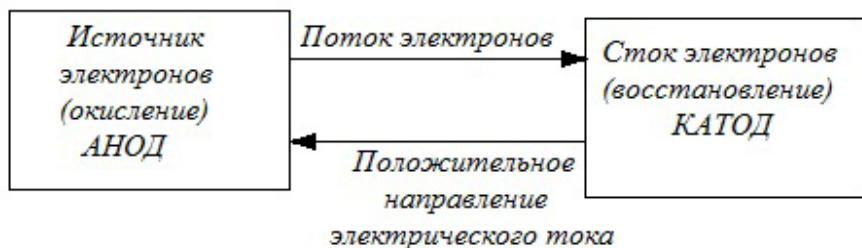


Рис. 5.1. Электрохимический элемент должен содержать источник и сток электронов

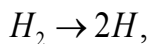
Реакции, которые протекают в электрохимическом

элементе, носят название окислительно-восстановительных, так как термин «окисление» соответствует процессу высвобождения электронов, а термин «восстановление» – процессу захвата электронов.

В электрохимической ячейке общая реакция делится на две промежуточные реакции, которые протекают в отдельных областях устройства. Эти области соединены посредством электролита, который является проводником ионов, но не проводит электроны, высвобожденные в промежуточной реакции окисления. Электроны могут попасть в ту область, где протекает реакция восстановления, только через внешнюю цепь. Таким образом, во внешней цепи возникает электрический ток, а электрохимическая ячейка является его источником – в этом и заключается ее назначение.

Положительным направлением электрического тока во внешней цепи условилось считать направление от восстановленной к окисленной области элемента – электрический ток выходит из области восстановления элемента, которая, таким образом, является катодом топливного элемента, и входит в область окисления, которая является анодом.

В качестве примера электрохимической ячейки рассмотрим мембрану, выполняющую роль электролита. Пусть одна из боковых поверхностей мембраны находится в контакте с водородом. При нормальных условиях газ будет состоять преимущественно из молекулярного водорода, однако некоторое количество молекул может диссоциировать на атомы



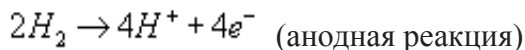
а часть атомов – окислиться (ионизироваться), т.е. потерять свой электрон:



Так как мембрана непроницаема для электронов, то они все останутся по одну ее сторону, в то время как образовавшиеся ионы посредством диффузии через мембрану окажутся по другую

ее сторону. В данном случае ионы переносят положительный заряд, поэтому та поверхность мембраны, на которой находится водород, станет отрицательно заряженной из-за избытка электронов, накопившихся на ней, а противоположная поверхность – положительно заряженной из-за положительных ионов, оказавшихся на ней вследствие диффузии. Возникшее электрическое поле заставляет часть ионов двигаться в обратном направлении к «водородной» поверхности мембраны. Динамическое равновесие в рассматриваемой системе устанавливается тогда, когда диффузионный поток ионов становится равным обратному току.

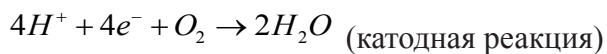
Теперь нанесем на обе поверхности мембраны электропроводный порошок. Таким образом получается два пористых электропроводных слоя, которые будут выполнять роль электродов. Подключим к электродам внешнюю нагрузку, обеспечив электрическое соединение электродов. Сопротивление нагрузки обозначим R_L . Ионы не могут перемещаться во внешней цепи, а электроны начнут двигаться из «водородной» части, где их избыток, к противоположной стороне мембраны, образуя во внешней цепи электрический ток, как показано на рис. 5.2. Реакция, представляющая для нас интерес, протекает на «водородном» электроде и описывается уравнением



Описанная схема работы элемента имеет один существенный недостаток – она противоречит первому закону термодинамики. Действительно, при протекании электрического тока через внешнюю нагрузку в ней выделяется теплота, количество которой определяется произведением $I^2 R_L$. При этом электроны, пришедшие в катодную область, соединяются с ионами H^+ , которые продиффундировали через мембрану, образуя атомы водорода H и в конечном счете регенерируя молекулы газа H_2 , использованного в качестве «топлива». При протекании процесса согласно приведенной схеме, мы получили бы теплоту без каких-либо затрат топлива.

Внешняя цепь образует только путь для перемещения

электронов, однако сама по себе она не может быть причиной возникновения электрического тока. Точно так же, как если опустить трубу одним концом в озеро, сама вода по трубе не потечет. Для того чтобы вода потекла, нужно чтобы другой конец трубы находился ниже уровня поверхности воды. Аналогично, для того чтобы получить во внешней цепи электрический ток, необходимо понизить потенциал (термодинамический) в катодной области. Проще всего это сделать, если подвести туда кислород, молекулы которого соединяются с электронами и ионами H^+ , в результате чего образуется вода:



Реакция является экзотермической, т.е. протекает с выделением преимущественно электрической энергии, а не тепловой, как это происходит при взрыве – при сжигании водорода. Очевидно, что именно эта энергия и питает топливный элемент.

Описанная схема электрохимической ячейки представлена на рис. 5.2.

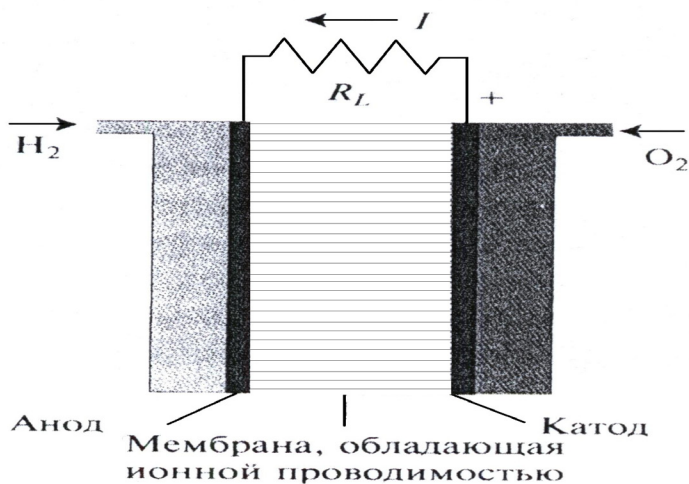


Рис. 5.2. Простейшая электрохимическая мембрана

При нормальных условиях доля продиссоциировавших молекул водорода в анодной области мала. Ее можно увеличить двумя способами:

- 1) повысив температуру системы;
- 2) с помощью действия катализаторов.

Второй способ предпочтителен во всех отношениях, но более дорогой, т.к. в качестве катализаторов необходимо использовать металлы платиновой группы.

5.4 Классификация топливных элементов

Существует несколько типов топливных элементов (ТЭ), различающихся электролитом и наличием промежуточных реакций:

ЩТЭ – топливные элементы с щелочным электролитом;

МТЭ – метанольные топливные элементы;

ФКТЭ – топливные элементы с фосфорнокислым электролитом;

РКТЭ – топливные элементы с расплавленным карбонатным электролитом;

ТОТЭ – топливные элементы с твердооксидным электролитом;

ТПТЭ – топливные элементы с твердополимерным электролитом.

Классификация топливных элементов может быть произведена по нескольким критериям:

- 1) рабочий диапазон температур,
- 2) агрегатное состояние электролита,
- 3) тип топлива,
- 4) химический состав электролита.

Рабочий диапазон температур

Напряжение разомкнутой цепи идеального топливного элемента зависит от используемого топлива и незначительно понижается при увеличении температуры. Однако максимальная плотность тока быстро увеличивается при повышении температуры, так как растет скорость химических реакций, которая также зависит от вида используемого топлива и может быть увеличена с помощью катализаторов. Чем выше температура,

тем выше плотность тока, которую может генерировать топливный элемент. С другой стороны высокая температура может быть несовместима с электролитом или материалами, используемыми в элементе, что существенно ограничивает срок его службы.

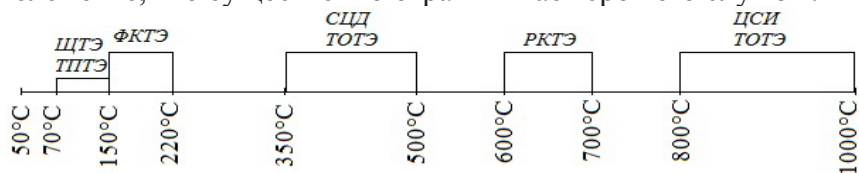


Рис. 5.3. Рабочий диапазон температур для различных типов ТЭ включает в себя довольно узкие области. Отметим, что на рисунке приведены данные для двух различных типов ТОТЭ: СЦД – диоксид цезия, легированный самарием; ЦСИ – цирконий, стабилизированный иттрием.

Для крупных электростанций, работающих в непрерывном режиме, высокий уровень температур выгоден: реакции протекают быстро, катализаторы либо не нужны, либо, если они все таки необходимы, то устойчивы к отравлению монооксидом углерода CO . А отходящие газы могут быть использованы для комбинированного производства энергии, что повышает общую эффективность электростанции. На электростанциях, работающих при более низких температурах, может производиться горячая вода для общих нужд, что является преимуществом для районных или автономных станций.

Для использования в транспорте, особенно в автомобилях, важно, чтобы топливный элемент работал при достаточно низкой температуре для сокращения времени выхода на рабочий режим.

В настоящее время наиболее распространенные ТПТЭ работают при температурах ниже $100^{\circ}C$.

5.5 Агрегатное состояние электролита

До недавнего времени в большей части топливных элементов использовались электролиты в жидком состоянии,

недостатками которого являются вероятность утечки, необходимость контроля уровня и концентрации электролита, коррозионная активность. В современных ТЭ при высоких температурах используются твердые керамические электролиты, а при низких – твердые полимерные. В некоторых ТЭ второго поколения в качестве электролита используются расплавленные карбонаты.

5.6 Тип топлива

Наиболее простым видом топлива для ТЭ является водород. Однако этот газ трудно хранить. Особенно актуальна эта проблема для автотранспорта.

Процесс получения водорода чаще всего включает в себя процесс паровой конверсии, при которой исходное сырье, содержащее углеводороды, преобразуется в синтез-газ или реформат, состоящий преимущественно из водорода H_2 и угарного газа CO . Затем проводят реакцию сдвига, в которой полученный на предыдущем этапе угарный газ CO вступает в реакцию с водой, в результате чего образуется водород H_2 и углекислый газ CO_2 .

5.7 Реакции, протекающие в топливном элементе

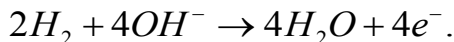
Щелочные электролиты

В водородно-кислородных ТЭ со щелочным электролитом (обычно КОН) токообразующим является ион OH^- . Так как ион содержит атом кислорода, на аноде образуется вода.

Диссоциация КОН в электролите описывается уравнением:



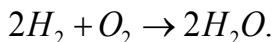
На оксиде нейтральные атомы водорода соединяются с гидроксильными ионами, в результате чего образуются молекулы воды и электроны, образующие ток во внешней цепи:



На катоде электроны снова образуют ионы гидроксила:

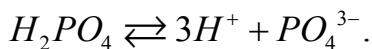


Электролит в этих реакциях не расходуется. Общее уравнение реакции:

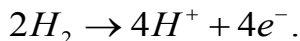


Кислотные электролиты

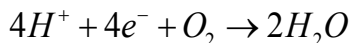
Если в качестве электролита используется раствор кислоты, то в нем присутствует ион H^+ . Он может образовываться в результате ионизации водорода (как это происходит в ТПТЭ) либо вследствие диссоциации молекул кислоты в растворе электролита. Для фосфорной кислоты уравнение реакции диссоциации имеет вид:



Во втором случае образование иона H^+ происходит за счет анодной реакции



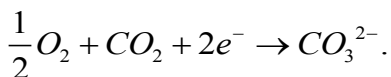
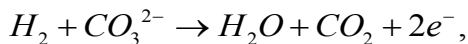
На катоде в присутствии молекул кислорода O_2 происходит рекомбинация ионов H^+ с электронами, пришедшими из внешней цепи, с образованием молекул воды:



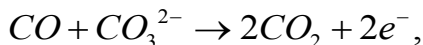
Расплавленные карбонатные электролиты

Электролит из расплавленного карбоната не подвержен влиянию диоксида углерода. Этот тип электролита может использоваться в высокотемпературных ТЭ, а следовательно при более высоких скоростях протекающих процессов.

Если в качестве топлива используется водород, то уравнение реакции будет иметь вид:



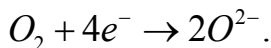
Если топливом служит монооксид углерода CO , то анодная реакция описывается уравнением



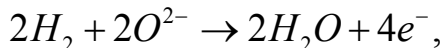
а катодная реакция та же, что и в случае использования водорода в качестве топлива.

Твердооксидные электролиты

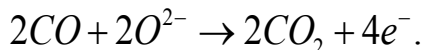
Твердооксидные электролиты обычно являются проводниками отрицательных ионов. На катоде молекулы кислорода ионизируются, захватывая электроны, пришедшие из внешней цепи:



На аноде молекулы топлива высвобождают электроны, соединяясь с ионами O^{2-} , которые перемещаются от катода к аноду через электролит. Топливом может служить как водород

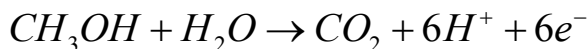


так и монооксид углерода

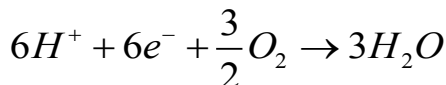


Метанольные топливные элементы

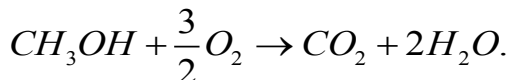
Реакция на оксиде



Реакция на катоде



Уравнение общей реакции



5.8 Принцип действия ТЭ

Принцип действия ТЭ проще всего проиллюстрировать на примере ЩТЭ, который является первым типом ТЭ, примененным как источник электроэнергии для космических аппаратов.

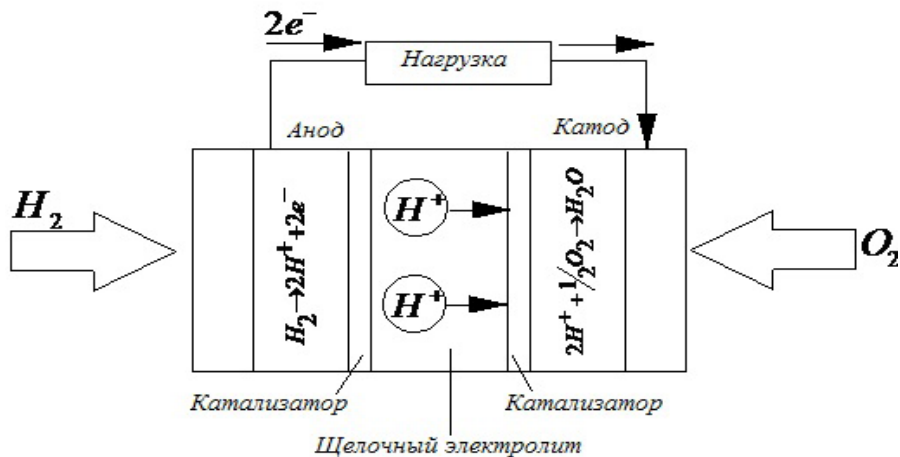
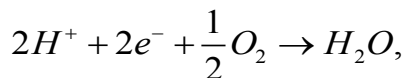


Рис. 5.4. Схема щелочного ТЭ

На аноде ТЭ, к которому подводится молекулярный газообразный водород, происходит его диссоциация и ионизация:



В качестве электролита используется раствор щелочи КОН с концентрацией 30-50%. ЩТЭ работает при температуре 100-250 °С. Образовавшиеся ионы водорода за счет разности потенциалов анода и катода диффундируют через слой электролита к катоду. Электроны, образовавшиеся на аноде при замыкании внешней электрической цепи (нагрузка) протекают по ней к катоду, совершая полезную работу. При этом на катоде протекает реакция



т.е. единственным продуктом при работе ЩТЭ является вода (водяной пар).

В ТЭ электроды и электролит в реакцию не вступают. Отличие ТЭ от гальванических заключается в том, что в них используются нерасходуемые электроды, работающие длительное время.

Эффективность реального топливного элемента во многом зависит от каталитических свойств электродов, обеспечивающих ионизацию реагентов. Для ЩТЭ в качестве катализаторов используется никель, серебро, металлы платиновой группы и др.

Для транспортной энергетики наибольший интерес представляют твердополимерные ТЭ (ТПТЭ), в которых проводником ионов водорода служит тонкая твердая полимерная мембрана. Рабочая температура ТПТЭ существенно ниже, чем для других ТЭ и составляет всего 60-80 °С. Единственной проблемой для ТПТЭ является организация отвода воды, образующейся при реакции водорода с кислородом.

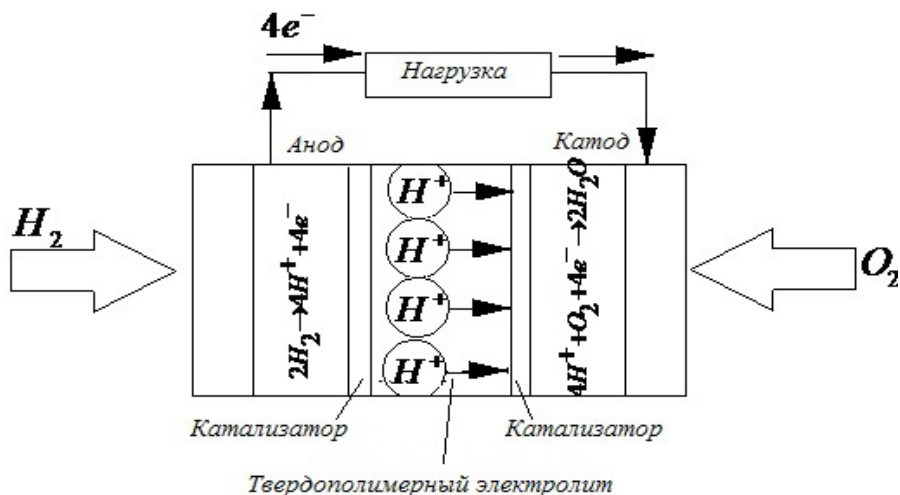


Рис.5.5. Схема твердополимерного ТЭ

Разработка ТПТЭ была начата компанией «General Electric» в конце 1950 г. и одной из основных проблем стало

создание химически стойкого электролита с низким удельным сопротивлением и высокой механической прочностью. Поэтому были созданы твердополимерные протонопроводящие мембраны – это полимеры с ионогенными (диссоциирующими на ионы) группами, образующие водонерастворимые ионообменные мембраны за счет пространственной сшивки полимерных цепей.

При контакте с водой мембрана набухает и происходит диссоциация ионогенных групп, в результате чего ионы водорода получают возможность перемещаться между фиксированными в полимере кислотными группами.

Хотя мембрана из твердополимерного электролита очень тонкая (около 120 мкм), она обладает низкой газопроницаемостью и снижает вероятность смешения взрывоопасных реагентов. В качестве электрокатализаторов в таких установках используются металлы платиновой группы.

5.9 Типовая конструкция топливных элементов

Создать топливный элемент для демонстрационных целей достаточно просто (рис. 5.6).

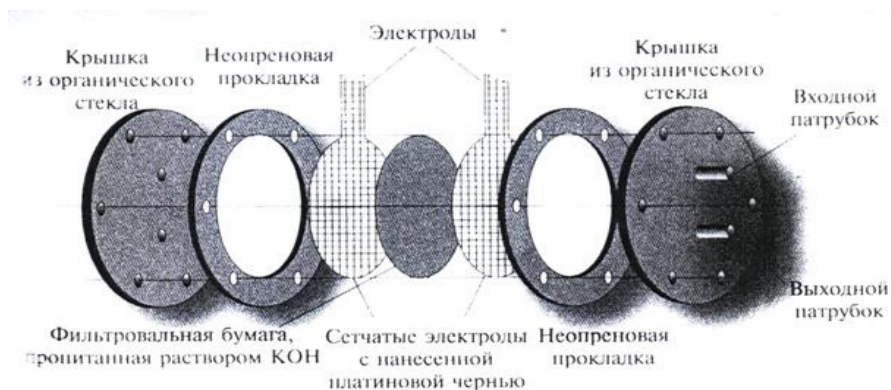


Рис.5.6. Демонстрационная модель топливного элемента в разобранном виде

По ободу двух крышек, сделанного из органического стекла, просверлено шесть отверстий под винты скрепляющие корпус. Диаметр устройства ~ 8 см.

Топливо и окислитель поступают из двух миниатюрных баллонов в одном из которых находится водород, а в другом – кислород. Избыточный газ отводится в специальную емкость с водой.

ТЭ делается геометрически симметричным – между катодной и анодной частями устройства разница в конструкции отсутствует. Сетчатые электроды выполнены из платины. Для повышения каталитической активности перед эксплуатацией топливного элемента на сетчатые электроды наносится платиновая чернь.

Напряжение разомкнутой цепи равно 1 В. При подключении нагрузки элемент может выдавать во внешнюю сеть ток 200 мА при напряжении $0,7$ В, т.е. мощность ТЭ составляет 140 мВт.

В качестве электролита используется диск из фильтровальной бумаги, пропитанной раствором *КОН*.

Рассмотренная конструкция довольно примитивна и относится к тем временам, когда создание нанообменных мембран представляло серьезную трудность. В настоящее время для демонстрационных целей рядом производителей выпускается более совершенные модели ТЭ.

Необходимую информацию можно получить в поисковой системе Google по поисковому запросу «Fuel cell demonstration kit». некоторые из предлагаемых наборов хорошо спроектированы, и их легко изготовить и использовать для демонстрации.

5.10 Применение топливных элементов

Технологии создания и эксплуатации топливных элементов в настоящее время находятся в стадии быстрого развития. Стало понятно, что топливные элементы обладают высоким экономическим потенциалом и число возможных областей применения ТЭ продолжает расти.

Но основные усилия по внедрению ТЭ сосредоточены на

двух направлениях – стационарных и мобильных энергетических установках.

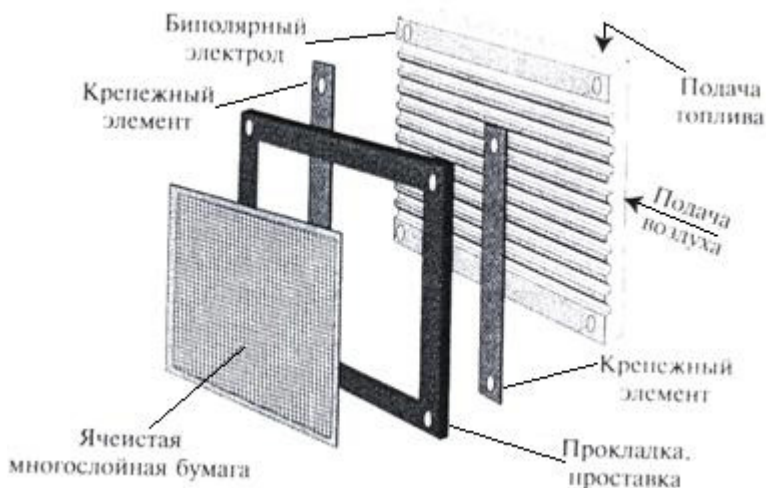


Рис. 5.7. Один из элементов топливного элемента Engelhard с фосфорнокислым электролитом

5.10.1 Стационарные энергетические установки на топливных элементах

К стационарным энергетическим установкам относятся электростанции большой мощности (до 1 ГВт), распределенные электростанции меньшей мощности (десятки Мегаватт), а также электрогенераторы малой мощности (от 10 до 100 кВт), расположенные непосредственно в местах потребления электроэнергии. В области электроэнергетики ТЭ имеют следующие преимущества перед обычными тепловыми машинами:

- 1) отсутствие шума;
- 2) отсутствие загрязнения окружающей среды;
- 3) легкость наращивания мощности (благодаря модульной структуре);
- 4) возможность массового производства (благодаря модульной

структуре);

5) возможность рассредоточения электростанций, так как данный тип энергоустановок отличается отсутствием шума и загрязнения окружающей сред, электростанции могут быть расположены даже в жилых районах, что дает большую экономию на линиях электропередачи;

6) возможность использования сбросного тепла для целей теплоснабжения, так как энергоустановки на ТЭ могут быть расположены в населенных пунктах, где имеется потребность в горячей воде;

7) возможность когенерации электроэнергии от использования высокотемпературных выхлопных газов энергоустановок некоторых типов;

8) быстрая реакция на изменение уровня потребления электроэнергии;

9) хорошая эффективность при работе в режиме, когда вырабатывается мощность ниже номинальной;

10) чрезвычайно хорошие характеристики при работе в режиме перегрузки;

11) миниатюрность электроустановок – небольшое отношение массы и объема установки к вырабатываемой мощности;

12) высокая надежность;

13) минимальные эксплуатационные расходы.

5.10.2 Мобильные энергетические установки на топливных элементах

Для использования на автотранспорте компактные ТПТЭ подходят идеально. Среди многих преимуществ, свойственных этому типу ТЭ, нужно принять во внимание отсутствие загрязнения окружающей среды, высокую эффективность (что гарантирует экономию топлива), а также низкий уровень рабочей температуры позволяет быстроту запуска системы.

Батареи ТПТЭ будут иметь длительный срок службы, что может привести к необычной ситуации. Правдоподобный период

службы батареи составляет 50 000 часов. Это означает, что даже при низкой скорости движения автомобиля, равной 40 км/ч, батарея может питать двигатель на протяжении приблизительно 2 млн. км пробега автомобиля. Т.е. срок службы топливного элемента оказывается на много больше срока службы автомобильного кузова. Таким образом, имеет смысл повторно использовать ТЭ для установки на новые автомобили.

Обычным топливом для ТПТЭ является водород. Он может быть использован как в газообразной форме (сжатый или сжиженный газ) так и в виде вспомогательного вещества – носителя водорода, такого как метанол или гибриды металлов. Вещества – носители водорода могут быть получены из ископаемых топлив, из биомассы или прямым электролизом воды.

Необходимым устройством в автомобиле на ТЭ является устройство аккумулирования и хранения энергии (аккумуляторные батареи или ультраконденсаторы). Эти устройства нужны для обеспечения двигателя энергией во время его запуска, а также для аккумулирования энергии при динамическом торможении. Аккумулированная энергия необходима при быстрых ускорениях движения в дополнение к электроэнергии, вырабатываемой топливным элементом. Таким образом, достаточно, чтобы мощность батареи топливных элементов была близка к среднему значению мощности двигателя, а не к ее пиковому значению. Это значительно снизит габаритные размеры и стоимость батареи ТЭ автомобиля.

Компания Ballard Power System, расположенная в г. Ванкувер (Британская Колумбия, Канада) является одним из производителей, наиболее близко подошедших к серийному производству ТЭ для использования на транспортных средствах. В 1999 году автобусы, работающие на топливных элементах этой компании, уже приносили прибыль в Ванкувере и в Чикаго. В качестве топлива в этих машинах использовался сжатый водород. Дальность пробега без дозаправки составляла 580 км. Автобусы имели прекрасные характеристики разгона, а максимальная скорость их движения превышала 95 км/ч. На автобусах были установлены

двигатели мощностью 275 л.с., абсолютно не загрязняющие окружающую среду.

Компания Daimler - Benz, имеющая основную долю в Ballard, производит грузовые автомобили на топливных элементах под названием «Necar II», которые были опробованы большим количеством потребителей в Германии. Компания планирует в ближайшее будущее время начать производство этих автомобилей на продажу.

Вслед за Daimler -Benz об аналогичных планах заявили такие автогиганты как Ford, Toyota, Mazda и General Motors.

В 2003 году компанией Honda были выпущены первые несколько автомобилей на топливных элементах моделей FCX.

Автопроизводители накапливают опыт, который позволит отойти от использования двигателей внутреннего сгорания. Самые эффективные модели автомобилей, такие как EV1 компании General Motors, могут преодолеть 180 км, затратив 14 кВт·ч электрической энергии. Это количество электроэнергии может быть получено из 1 кг водорода, аккумулированного в гидриде массой менее 100 кг. Компания Honda выпустила ограниченное количество электромобилей под маркой «EVPlus». Компанией Toyota было продано несколько тысяч гибридных автомобилей (с электрическим двигателем и двигателем внутреннего сгорания) под маркой «Prius».

5.10.3 Другие области применения топливных элементов

Первое практическое применение топливные элементы нашли в космосе, где главным требованием является надежность техники, а не ее стоимость. Элементы работали на водороде и кислороде, запас которых уже имелся на космическом корабле для других нужд. На выходе ТЭ получалась питьевая вода. Безотходная работа топливных элементов оказывается очень полезной при использовании этих установок как на небольших подводных аппаратах, так и на больших подводных лодках.

Как только топливные элементы станут более легкими

и компактными, авиаконструкторы тут же приступят к созданию «холодного» самолета, невидимого для ракет с тепловой системой наведения.

Топливные элементы микроскопических размеров могут использоваться для питания портативных и микроэлектронных устройств.

Нездоровый интерес, который в последнее время проявляют военные к этому направлению, говорит об высокой эффективности и широком диапазоне применения топливных элементов.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие устройства называют топливными элементами?
2. Почему взрыв (разрушение) был положен в основу получения энергии в технике XX века?
3. Эффективны ли механизмы и двигатели, работающие на основе взрыва?
4. Чем отличаются природные энергетические механизмы от изобретенных человеком механизмов, работающих на основе взрыва?
5. Какие внутренние связи внутри вещества используют для прямого преобразования химической энергии в электрическую?
6. Объясните принцип действия топливного элемента.
7. Опишите электрохимические процессы в топливных элементах.
8. Нарисуйте схему простейшей электрохимической ячейки.
9. Как классифицируются топливные элементы?
10. Нарисуйте схему рабочих диапазонов температур для различных типов топливных элементов.
11. Какие реакции протекают в топливном элементе?
12. Опишите принцип действия и нарисуйте схему щелочного топливного элемента.
13. Опишите конструкцию топливного элемента.
14. Опишите область применения топливных элементов.

Глава 6. Энергия биомассы

6.1 Введение

Биологическое вещество растительного происхождения накапливает энергию поглощая солнечное излучение поступающее на поверхность Земли. Поглощённая солнечная энергия преобразуется хлорофиллом растительных клеток в химическую энергию. Поглощение солнечного излучения в ультрафиолетовой и красной частях видимого спектра, при длине волны $0,45...0,68$ мм, обуславливает зеленый цвет биомассы растений – фитомассы.

Масштабы ежегодного прироста биомассы на суше исчисляются *110 млрд. т*, причем на долю окультуренных, возделываемых площадей приходится $< 4\%$ названного объема.

Приняв среднюю теплотворную способность сухой биомассы равной *18 гДж/т*, можно определить количество ежегодно получаемой при сжигании сухопутного прироста фитомассы тепловой энергии астрономической цифрой *2 млрд. ТДж*.

Прирост биомассы в Мировом океане много больший. Для условий пролива Ла-Манш ежесуточное увеличение сухой массы фитопланктона составляет *100...125%*. Годичный урожай на площади в *1 км²* одного лишь фитопланктона оценивается равным – *2471,4 т*. Учитывая, что фитопланктон составляет только – *1,83%* от всей биомассы моря, можно сделать вывод, что темпы возобновления биомассы морей и океанов Земли гигантские.

6.2 Состав биомассы

Любое растение можно рассматривать как некую структуру со специализированными органами, обеспечивающими его рост и развитие. Так, за процесс, фотосинтеза в растениях отвечают листья, а через корневую систему в растение из почвы поступают вода и различные минеральные вещества, которые распространяются внутри растения в виде сока. Все структурные части

растения аккумулируют в себе энергию.

Листья растений можно преобразовать в биогаз (смесь метана и диоксида углерода) посредством их анаэробного разложения, а биологический остаток (шлам), получающийся после разложения можно использовать как отличное удобрение.

Ствол растений состоит из целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина в приблизительной пропорции 50/30/20%. Кроме того в стволе содержатся различные минералы, которые после сгорания образуют золу в количестве 1% от первоначальной массы. Целлюлоза и гемицеллюлоза являются углеродами. Лигнин имеет феноменальную структуру, трудно поддающуюся разложению микроорганизмами.

Энергия в растениях накапливается в виде углеводов, углеводородов и сложных эфиров.

Углероды состоят из сахаров и их полимеров, таких как крахмал, целлюлоза и гемицеллюлоза. Сахароза обычно накапливается в соке, клубнях и плодах растений.

Большая часть углеводов, находящихся в растениях, относится к полиизопренам (терпенам), т.е. к полимерам углеводорода ацетиленовой группы, изопренов C_5H_8 . Большое количество этих веществ содержится в молочае и каучуковом дереве.

6.3 Использование биомассы

Энергетическое использование биомассы имеет одно неоспоримое преимущество по сравнению с использованием ископаемого топлива: при сжигании биомассы не увеличивается общее количество CO_2 в атмосфере. Этот факт объясняется тем, что при сжигании биомассы выделяется ровно такое же количество углерода, какое растения поглотили из атмосферы и преобразовали в кислород и органические соединения. Поэтому общий баланс диоксида углерода в атмосфере не нарушается.

В настоящее время в связи со все нарастающим использованием ископаемого топлива концентрация углекислого газа в атмосфере растет в угрожающей прогрессии. так, ежегодное

потребление бензина только в США на сегодняшний день достигло 7,3 млн. баррелей, что соответствует $1,2 \cdot 10^9$ л, или $0,7 \cdot 10^9$ кг или 700000 тонн в день. Такое потребление бензина приводит к выбросу 61000 тонн диоксида углерода в день или 22 млн. тонн в год.

Ежегодное потребление автотранспортом бензина эквивалентно энергии, получающейся при сжигании 35 млн. крупных деревьев. И все это относится только к использованию бензина. Если рассматривать использование в энергетике всех продуктов нефтяной промышленности, то эти цифры вырастут в 3-4 раза. При этом мы учитывали выбросы, связанные с использованием природного газа и угля (так в США 56 % электроэнергии вырабатывается на угольных электростанциях). Таким образом, использование ископаемых органических топлив приводит к сильнейшему загрязнению атмосферы выбросами диоксида углерода.

Одно из важных преимуществ топлива из биомассы – низкое содержание в нем серы, что смягчает проблему кислотных осадков.

Еще одно важнейшее преимущество биомассы заключается в:

- распространенности,
- доступности,
- всесезонности.

Биомасса как источник энергии играет существенную роль в мировом энергетическом балансе.

Сегодня вклад биомассы в мировой энергетический баланс оценивается в 12 - 13 %.

Ежегодно в мире образуется около 220 млрд. т. биомассы по сухому веществу, что по теплоотводности эквивалентно 4000 ЭДж. Для сравнения, общее количество потребления энергии в мире составляет около 430 ЭДж.

Наибольший удельный вес биомасса имеет в энергетических балансах развивающихся стран Африки, Азии и Латинской Америки, где для приготовления пищи, обогрева и освещения традиционно используются дрова. В последние годы значительно увеличилась доля биомассы в энергетических балансах развитых

стран. Причины такого увеличения кроются в постоянном росте цен на ископаемые топлива (в первую очередь на нефть и газ) и в стремлении стран обеспечить свою энергетическую безопасность.

Коммерческое энергетическое использование биомассы в основном ориентируется на отходы лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. В некотором объеме используются сельскохозяйственные отходы. Увеличение вклада биомассы в потреблении энергии в развитых странах в % к общему потреблению энергии приведено в таблице.

Таблица 6.1.

<i>Страна</i>	<i>1980 г.</i>	<i>1997 г.</i>
Дания	0,4	5,9
Япония	0,1	1,6
Германия	0,3	1,3
Нидерланды	0	1,1
Швеция	7,7	17,9
Швейцария	0,9	6,0
Великобритания	0	3,3
США	1,3	3,8

В России имеется огромный биоэнергетический потенциал (таблица 6.2). Прежде всего, это лес, занимающий 60% территории страны и производящий ежегодно почти четверть мирового прироста биомассы. Однако вклад биомассы в потреблении энергии в России весьма незначительный. Если ориентироваться на официальные цифры Роскомстата, то вклад этот составляет всего 20 млн. т. у. т. по данным на 2005 год общее количество органических отходов АПК составило 6425,2 млн. т. (225 млн. т. сухих веществ) с общим валовым энергосодержанием 80,6 млн. т. у. т.

Таблица 6.2.

Древесина	800 млн. т.
Сельскохозяйственные отходы	250 млн. т.
Древесные отходы	70 млн. т.
Возобновляемые ресурсы торфа	60 млн. т.
Отходы животного происхождения	10 млн. т.
Твердые бытовые отходы (ТБО)	60 млн. т.
Осадки сточных вод	10 млн. т.

6.4. Технологии использования энергии биомассы.

Многочисленные технологии использования энергии биомассы подразделяются на три категории:

- прямое сжигание;
- физико-химические технологии переработки в более энергонасыщенные вещества;
- биотехнологии переработки биомассы близкие к природным.

6.4.1. Прямое сжигание.

Это наиболее древний процесс высвобождения энергии биомассы, известный с тех незапамятных времен, когда в костре пещерного человека сгорала древесина. Для промышленно слабозастроенных стран до настоящего времени велика роль биомассы как основного вида топлива. Так, в топливно – энергетическом балансе Никарагуа (Центральная Америка) по состоянию на 1981 г. древесина, древесный уголь (как ее производное) и жом сахарного тростника – багасса составляли 56% всего топливного ресурса. В 1980 г. дрова составляли 4/5 объема заготовок древесины таких регионов как:

- Латинская Америка - 80%;

- Африка – 88,4%;
- Южная и Юго-Восточная Азия – 90%.

Эти цифры означают, что в одной только Латинской Америке ежегодно вырубались леса на дрова на площади более 3 млн. га. Как усовершенствование прямого сжигания биомассы (дров) разработан метод газификации дров.

6.4.2. Газификация биомассы.

Нехватка жидкого топлива во время Второй мировой войны привела к необходимости поиска новых видов топлива. Эти искания привели в разработке процесса газификации древесины. Полученный газ использовался в автомобильных и тракторных двигателях.

В процессе газификации твердое топливо разлагается с появлением более энергоемких газообразных продуктов. При этом используется тепло от сжигания части исходного топлива.

В современных газификаторных установках на выходе получается синтез – газ, являющийся смесью водорода, угарного газа (оксид углерода), диоксида углерода, азота и его соединений.

Синтез – газ можно напрямую использовать в двигателях внутреннего сгорания. Газификация является наиболее простым способом использования древесины в качестве топлива для двигателей.

В современных газификаторах получаемые продукты содержат до 85% энергии сгорания исходного продукта. Большая часть этой энергии – это химическая энергия получившихся веществ, а другая часть – это тепловая энергия выходящая из газификатора газа. Если получившийся синтез – газ охлаждается до нормальной температуры, то он содержит только около 65% исходной энергии сгорания топлива.

Наиболее совершенные технологии газификации разработаны в Бразилии, где из-за недостатка нефти широко применяются альтернативные виды топлива (этанола). Для газификации там используется древесина эвкалиптового дерева, растущего

очень быстро даже на бедной и сухой земле.

В США для этих целей предполагается использовать разнообразные гибриды ивовых кустарников, растущих со скоростью 3 м. в год (40 см. в месяц).

6.4.3. Физико-химические технологии переработки биомассы.

В основном эти технологии сводятся к четырем следующим:

- пиролизу;
- гидрированию;
- гидролизу;
- экстракции жиров.

Общие сведения об этих процессах приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3.

<i>Технология</i>	<i>Физико-химическое содержание</i>	<i>Продукты переработки биомассы</i>	<i>Назначение продуктов</i>
Пиролиз	Деструкция при сухой перегонке	Газ, смола, твердый остаток	Употребляются как топлива
Гидрирование	Деструкция, превращение непредельных углеводородов в предельные	Газ, жидкий гидрогенизат	Сырье, аналогичное нефтяному
Гидролиз	Превращение полисахаридов в моносахариды	Моносахариды	Подвергаются аэробному сбраживанию в топливный этанол
Экстракция жиров	Извлечение жиров	Природные жиры	Непосредственно или после переработки используется как жидкое топливо

Пиролиз. В лаборатории Г. Гефер и К.Энглера еще в 1888 г. подвергли пиролизу рыбий (сельдяной) жир при термобарических условиях процесса 400°C и 1 МПа . в результате была получена смесь жидких углеводородов от пентана до нонана с плотностью $810,5 \text{ кг/м}^3$ и выходом $61 \text{ об. } \%$. Перегонка смеси дала смазочные масла и твердый парафин, аналогичные нефтяным.

Сухая биомасса, подобно другим твердым горючим полезным ископаемым (углю, торфу и т.д.), при высокотемпературном

разложении образует четыре основных продукта – газ, смолу, смольную воду и твердый остаток. Наиболее энергетически плотный вид фитомассы, древесина, дает при температуре $400...800^{\circ}\text{C}$ горючий древесный газ, смолу («отстойную» малорастворимую и растворимую), подсмольную воду («жизжку») и древесный уголь. Однако «отстойная» смола не является аналогом нефти. Она содержит богатые фенолами масла и могла бы быть переработана в жидкое топливо – спирты и углеводороды – лишь после обесфеноливания, неоднократной перегонки и с непромышленно малым выходом. Технологии пиролиза биомассы направлены в основном на получение энергетического газа в газогенераторах. Как правило, в последних камеры пиролиза загружаются сырьем сверху. Снизу осуществляется подача окислителя (воздух, кислород) со скоростью, обеспечивающей переработку биомассы в восстановительной среде ($400...800^{\circ}\text{C}$). При продувке воздухом выходящий энергетический газ состоит в основном из азота (рис. 6.1, а). Этот негорючий компонент понижает теплотворную способность газа до $6,8...7,2 \text{ МДж}/\text{м}^3$. Пиролиз в атмосфере чистого кислорода с дополнительным вводом пара позволяет получить газ без балластных примесей, обладающих средней теплотворной способностью порядка $11 \text{ МДж}/\text{м}^3$ (рис. 16, б).

Газ пиролиза биомассы после очистки от частиц летучей смолы является топливом для ДВС. Во время второй мировой войны трудности со снабжением нефтепродуктами заставили многие государства развивать газогенераторный транспорт. В данном случае облегченный газогенератор с камерой пиролиза монтировался на шасси транспортной единицы. В качестве сырья, как правило, использовалась древесина.

Газогенераторный транспорт бывшего СССР потреблял так называемую газочурку из березовой, сосновой или еловой древесины с размером $70 \times 70 \times 70 \text{ мм}$. Для грузовика марки «ЗИС-121» требовалось на 100 км . пути 90 кг . газочурки. Запуск газогенератора длился около получаса. С точки зрения рентабельности газочурка для тракторных генераторов обходилась более чем втрое дороже нефтяного соляра. Замена сырой древесины

древесным углем сокращала этот разрыв в $1,54 \dots 1,57$ раза. Поэтому в послевоенные годы был прекращен и сам выпуск газогенераторного транспорта.

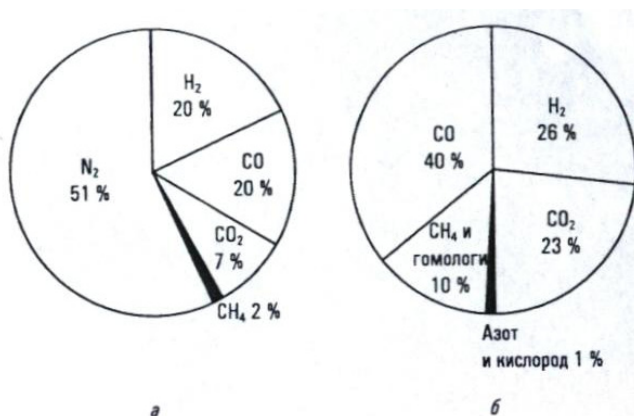


Рис. 6.1. Состав энергетического газа, полученного при пиролизе биомассы при продувке воздухом (а) и кислородом при вводе пара (б). Исходные данные В. Козлова (2007 г.), Д. Фенгеля и Г. Вегенера (1988 г.)

В настоящее время газ пиролиза используется в газомотор-генераторах электроэнергии. Например, американская установка «Биомакс» способна перерабатывать сбросную биомассу: древесные отходы, макулатуру, отходы хлопчатобумажных тканей, кожи и пластических масс. Энергетический газ (рис. 6.1, а) поступает в ДВС, приводящий в действие электрогенератор. Теплота, выделяющаяся в окислительной зоне газогенератора ($800 \dots 1200^\circ C$), утилизируется в теплообменнике. В среднем при переработке $1,5$ кг. отходов древесины вырабатывается 1 кВт электрической и $7,21$ МДж тепловой энергии. Зола биомассы находит применение в сельском хозяйстве как удобрение.

О возможных масштабах экономии невозобновляемых ресурсов углеводородного сырья за счет использования энергетического газа из биомассы свидетельствуют примеры из опыта экс-

плуатации газогенераторов различных конструкций (табл. 6.4).

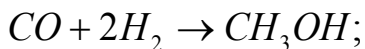
Таблица 6.4.

Страна	Фирма изготовитель	Вид перерабатываемой биомассы	Характеристика процесса пиролиза		Количество соляра как эквивалент 1 кг. биомассы, кг.	Литературный источник
			выход газа с 1 м ³ биомассы, м ³	теплотворная способность газа, МДж/м ³		
ЮАР	«Рино Энерджи»	Дрова, солома, подсушенный навоз	-	5,5	0,28...0,4	В.Г. Некрасов [1991 г.]
Франция	«Шевель»	Древесина (щепа с влажностью 20%)	187,5	5,0...7,0	0,33	А.И. Тищенко [1987 г.]

Как видно, полученный при переработке 1 т. сбросной биомассы объем энергетического газа эквивалентен по величине теплотворной способности 300...400 кг. нефтяного топлива.

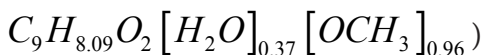
Иной путь получения биотоплива из пиролизного газа предлагают Д. Фенгел и Г. Вегенер. Сначала газ (рис. 6.1, б) следует очистить от примесей, превратив в синтез – газ, содержащий только оксид углерода (II) и водород в соотношении 1:2.

Далее из синтез – газа при термобарических условиях 450°C и 20 МПа производится пригодный на топливо метанол:



Катализатором реакции служит оксид цинка, активизированный медью и оксидом алюминия.

Гидрирование. Данное направление переработки биомассы совмещает термическое дробление крупных молекул естественных полимеров (например, растительного лигнина



на более мелкие с последующим гидрированием получаемых непредельных углеводов, серо- и кислородосодержащих соединений, т.е. по химизму соответствует широко применяемому для переработки нефтяного сырья гидрокрекингу. Так, при гидрировании спермацета – воскоподобного вещества, содержащегося в черепа кашалота, получается углеводород алканового гомологического ряда гексадекан (целант) $C_{16}H_{34}$. Ниже будут рассматриваться некоторые технологические аспекты процесса гидрирования одного вида фитомассы – вышеупомянутого растительного лигнина.

Совместно с целлюлозой лигнин образует древесную ткань высших растений. Содержание лигнина в древесной массе варьирует от 17,6 мас. % для осины до 37,7 мас. % у африканского карандашного дерева. На рис. 6.2 представлены характеристики состава различных сельскохозяйственных отходов.

В отличие от целлюлозных и гемицеллюлозных компонентов фитомассы лигнин не подвергается гидролизу (см. ниже) и практически целиком идет на сбор. По состоянию на 1978 г. японские специалисты Я. Кобаяши и Р. Мацуо оценивали сбросную массу щелочного лигнина в мировой целлюлозно-бумажной промышленности равной 70 млн. т.

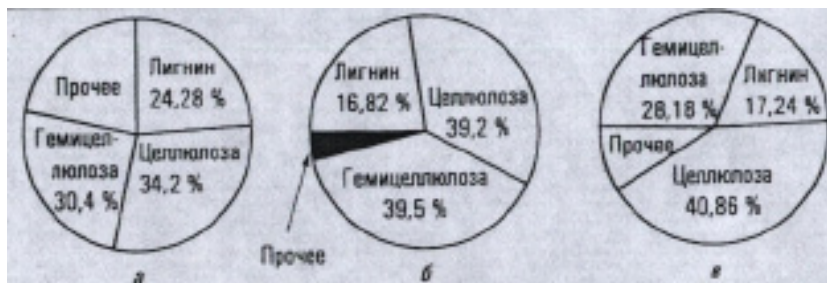


Рис. 6.2. Состав по массе подсолнечной лузги (а), кукурузных ко-черыжек (б) и просяной лузги (в). исходные данные Н.И. Лазаренко и др. (1968 г.).

Гидрирование лигнина в водной/щелочной средах при давлении 30 МПа и на никелевом катализаторе позволяет получить топливный метанол, некоторые высшие спирты (пропилциклогексанол и пр.) и высококипящие смолы (табл. 6.5).

Таблица 6.5.

Природа лигнина	Соотношение продуктов гидрирования, мас. %		
	метанол	высшие спирты	смолы
Осиновый	26,5	38,2	22,0
Белой ели	15,0	21,0	52,0

Использование гидрокрекинга превращает лигниновые смолы в смесь жидких углеводородов, преимущественно аренов. Характерный пример – гидрокрекинг в термобарических условиях 490°C и 4,5 МПа фракции смолы пиролиза лигнина, выкипающей при температуре ≤370°C. В результате образуется фракция с плотностью 951 кг/м³ и элементарным составом

углерод.....	91,86
водород.....	8,1

При температуре $\leq 280^{\circ}\text{C}$ выкипает порядка 42 об. % полученного продукта. Последний более чем на 4/5 своего объема состоит из аренов, главным образом толуола (~20%). Остаток представлен алканами и циклоалканами. Как видно, гидрокрекинг лигниновой смолы пиролиза с алюмокобальтмолибденовым катализатором дает на выходе полноценное бессернистое жидкое топливо для ДВС.

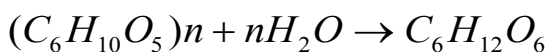
Гидрирование лигнина в неводной среде приводит к немедленному образованию нефтеподобных масел. Они состоят в основном из аренов и циклоалканов. В частности, в среде фенола при температурах 400...500 $^{\circ}\text{C}$ и катализатором – сульфидом молибдена около 54 об. % исходного сырья преобразуется в масло с температурой кипения 300 $^{\circ}\text{C}$.

Ко времени опубликования работ В.М. Никитина промышленное производство жидких моторных топлив гидрированием лигнина было нерентабельным. Теперь же положение изменилось как из-за вздорожания нефти, так и необходимости переработки больших объемов сбросного лигнина.

Древесина, составной частью которой является лигнин, гидрируется аналогичным образом. При этом жидкие углеводороды продуцируют лишь лигнин, прочие компоненты дерева преобразуются в углеводородный газ. Начало подобных работ относится к 1930 г. тогда известная германская корпорация «ИГ Фарбениндустри» освоила технологию гидрирования древесины европейской ели (*Picea abies*) в смеси этанола и бензола при 280 $^{\circ}\text{C}$ и ~1,6 МПа. катализатором процесса выступал никель. Древесная масса превращалась в пек, состоящий на 3/5 по объему из вязкой смолы. Далее смола с помощью гидрокрекинга и гидроочистки преобразовывалась в полноценный бензин. Издержки его производства составляли лишь 72 % затрат на получение из этой же древесины топливного этанола способом гидролиза. Гидрирование древесной смолы в среде ацетона, проводящееся в более жестких – 250...340 $^{\circ}\text{C}$ и 25 МПа – условиях, переводит в высоко-

сортные нефтеподобные масла 98 % массы исходного сырья. Если же в качестве жидкости – носителя принимается диоксан, а катализатором служит хромит меди, то древесина клена преобразуется в метанол.

Гидролиз. Природные полисахариды, как целлюлоза ($C_6H_{10}O_5$) n способны разлагаться водой при повышенной температуре (150...160°C) и в присутствии серной кислоты до моносахаридов:



глюкоза

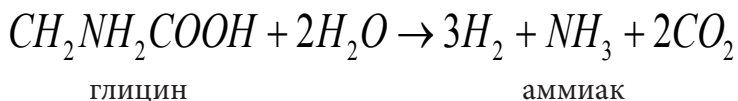
Затем полученные моносахариды подвергаются спиртному брожению, преобразовываясь в этанол



этанол

В частности, сухие древесные отходы содержат 55...65мас. % моносахаридов (пентоз и гексоз). Процесс протекает в 0,3...0,5%-м растворе серной кислоты. Основные доли в балансе издержек гидролизного производства на стоимость самой древесины (28...30%) и стоимость технологического пара (32%), который необходим для поддержания высокой температуры среды. Также значительны (>30%) энергетические затраты на дистилляцию этанола из перебродивших моносахаридов. Как следствие, энергозатраты на производство 1 т. C_2H_5OH он из древесины путем гидролиза достигают 84 ГДж, тогда как теплотворная способность винного спирта составляет 27 ГДж/т. Необходимое для достижения рентабельности спиртового топлива уменьшение энергетических затрат на осуществление гидролиза древесной фитомассы возможно при применении биотехнологий. Одна из них, разработанная в США, предусматривает гидролиз с помощью ферментов целлюлозы, содержащейся в сбросной бумаге. Последняя на 70% состоит из клетчатки, порядка половины которой должна быть превращена в глюкозу при температуре, равной 50°C.

Промышленное освоение фотокаталитического гидролиза биомассы имеет широкие перспективы



Использование платины, нанесенной на порошок оксида титана (IV), как катализатора позволяет при ультрафиолетовом облучении разлагать водой аминокислоты, белки и жиры с выделением альтернативных энергоносителей водорода, в меньшей мере аммиака. Другие продукты фотокаталитического гидролиза метанол из биомассы батата (сладкого картофеля), или из целлюлозы хлопчатника – также представляют интерес в энергетическом отношении. Применение в роли катализаторов платинированных порошков сульфида кадмия и фосфида галлия делает возможным фотокаталитический гидролиз в видимом свете.

Вопросы для самоконтроля.

1. Какую роль играет биомасса в энергетике?
2. Охарактеризуйте темпы прироста биомассы на суше и на море.
3. Дайте понятие состава биомассы.
4. Дайте сравнительную характеристику использования биомассы и ископаемых топлив для получения энергии.
5. Опишите преимущества и недостатки прямого сжигания биомассы.
6. Опишите технологию газификации биомассы.
7. Дайте характеристику пиролизу биомассы.
8. Дайте характеристику гидрированию биомассы.
9. Дайте характеристику гидролизу биомассы.

Глава 7. Энергетические биотехнологии

7.1. Производство этанола.

Страны, имеющие большие территории и небольшие запасы нефти, могут использовать этанол для восполнения недостатка нефтяного топлива. Кроме того, что этанол обладает высокими антидетонационными свойствами. Он является более эффективным топливом, чем бензин (11:1 против 9:1 для бензина). Это частично компенсирует меньшую объемную плотность энергии этанола.

Этанол может быть получен из ряда продуктов растительного происхождения: сахара, крахмала и целлюлозы. Для получения этанола из основного продукта реакции (например, сахарозы) требуется затратить некоторое количество энергии на процесс дистилляции. В этой связи большое преимущество имеет сахарный тростник, т.к. он является источником как сахара (сок тростника) так и топлива из бегассы (стебли после отжима).

В настоящее время в Бразилии с 1 га земли в год получают до 75 т. сахарного тростника. Поставляемый на фабрики, подготовленный к переработке тростник – обрезанный и подсушенный – составляет 77% массы сырого тростника. Средняя урожайность подготовленного таким образом тростника оказывается на уровне 58 т/га в год. С каждой тонны обработанного тростника можно получить 740 кг. сока (135 кг. сахарозы и 605 кг. воды) и 260 кг. серого жмыха – бегассы (130 кг. высушенного жмыха). Поскольку удельная теплота сгорания сахарозы 16,5 МДж/кг, а теплота сгорания жмыха 19,2 МДж/кг, то в результате из 1 т. тростника можно получить 4,7 ГДж тепловой энергии, из которой 2,2 ГДж относится к сахарозе, а 2,5 ГДж – к жмыху.

Сахарный тростник, собранный с 1 га земли в год, может дать 0,27 ТДж тепловой энергии. Это соответствует 0,86 Вт/м² плантации. При среднем потоке солнечной радиации 225 Вт/м² эффективность фотосинтеза сахарного тростника составляет 0,38%. 135 кг. сахарозы, полученной из 1 т. тростника, можно

преобразовать в 70 л. этанола с удельной энергией сгорания 1,7 ГДж. Теоретическая эффективность преобразования сахарозы в этанол 97% (практическая эффективность – 76%).

Таким образом с 1 га сахарного тростника можно получить 4060 л. этанола в год. При этом не учитываются затраты энергии на обжиг, сбор, транспортировку и т.д. нетрудно посчитать, что солнечная энергия преобразуется в энергию этанола с эффективностью около 0,13%. Это гораздо меньше, чем при использовании фотоэлектрических модулей для преобразования солнечного излучения. Тем не менее производство этанола и использование его в качестве топлива являются экономически привлекательными.

Из 130 кг. сухого жмыха, полученного из 1 т. тростника, 52 кг. необходимо на дистилляцию этанола, а остальной жмых может использоваться для различных промышленных нужд. Так его целлюлозу можно использовать в качестве исходного материала для производства бумаги. Из гемицеллюлозы после гидролиза можно получить пятиуглеродные сахара (пентозы) из которых в дальнейшем может быть получен фурфурол (топливо для гоночных болидов).

Самый большой этаноловый завод в Бразилии производит 1,2 млн. л. этанола в день, что является энергетическим эквивалентом 5000 баррелей нефти. Этот завод перерабатывает сахарный тростник, растущий на плантациях общей площадью 110000 га. Кроме этанола завод производит ежедневно 8600 т. целлюлозы, 5200 т. гемицеллюлозы, 1900 т. лигнина и других продуктов переработки тростника.

Промышленное производство этанола начинается с отжима сока и отделения багассы (Рис. 7.1). Это осуществляется либо механическим отжимом, либо экстракцией водой. Сок, разбавленный водой в необходимом для ферментации пропорции, помещается в цистерны, куда вводится культура дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Жидкость поддерживается при температуре 37°C, и вскоре начинается выделение CO₂. Процесс продолжается около 36 ч., в результате образуется спиртовая бражка, содержащая около 10% спирта, которая перемещается в дистиллятор.

Образующийся одновременно диоксид углерода собирается и в виде сжатого газа поставляется на продажу.

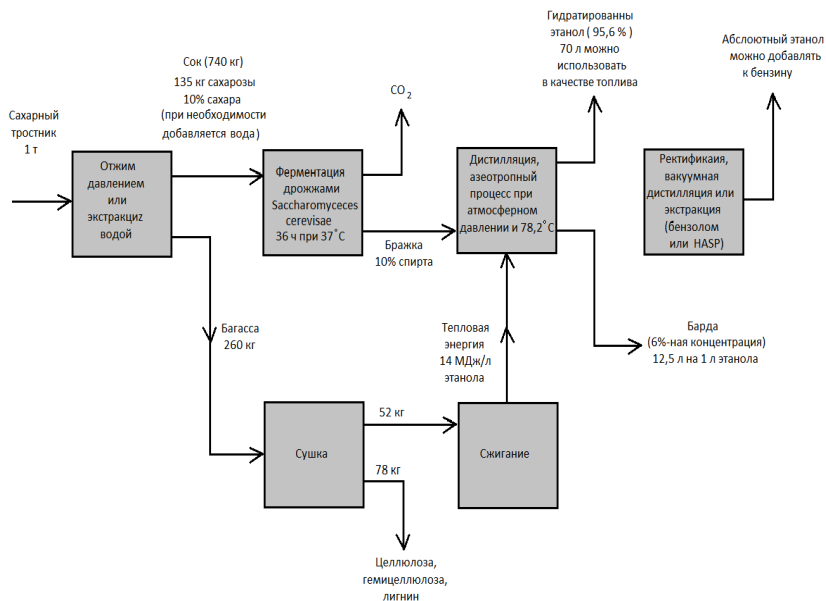


Рис. 7.1. Диаграмма потоков вещества при получении этанола (на примере производства в Бразилии)

Современный бразильский этанольный завод тратит 14 МДж тепловой энергии для дистилляции 1 л. этанола. Это составляет 57% энергии, которая затем может быть получена из 1 л. этанола. Поэтому с целью экономии энергии при дистилляции используется тепло от сжигания части жмыха.

При дистилляции получают два продукта: концентрированный этанол и барду, которая содержит питательные вещества, которые сахарный тростник в процессе роста вынес их почвы. Образование барды на заводе создает проблемы по ее утилизации. На каждый литр спирта образуется 12,5 л. барды, которая представляет собой токсичный загрязнитель и не может сбрасываться в канализацию. Разработано несколько способов утилизации барды. Среди них использование ее как удобрения, что тре-

бует размещения заводов по производству этанола вблизи плантации сахарного тростника, поскольку барду с низкой концентрацией полезных веществ (до 6%) экономически не выгодно транспортировать на значительные расстояния.

Мы довольно подробно рассмотрели бразильский опыт производства альтернативного топлива (этанола) для того чтобы продемонстрировать концепцию создания энергетического технологического процесса, как продолжение естественного процесса природы по выращиванию и утилизации сахарного тростника. В итоге этанол эффективнее бензина. Бразилия производит его в таком количестве, что может экспортировать.

Таким образом, если в стране складывается критическая энергетическая ситуация - нет нефти, то страна ищет другие альтернативные пути и находит их.

Россия всегда жила иллюзией, что ее запасы нефти, газа, угля бесконечны. Но в середине XX века эта иллюзия рассеялась и стало ясно, что эти запасы скоро исчерпаются, и нам необходимо усиленно искать альтернативу бензину. И Бразилия продемонстрировала гениальное решение этой проблемы.

Да, в России нет сахарного тростника, но в России огромные запасы биомассы в виде стихийных березняков и осинников, которыми сегодня зарастают сельскохозяйственные угодья - сотни тысяч гектаров брошенных пахотных земель. Природа сама указывает нам технологическое направление деятельности, и сама засеивает для нас некогда пахотные земли, которые теперь нам не нужны. Это ли не проявление Великой Мудрости Природы и Великой Любви Природы к человеку (человечеству), несмотря на всю мерзость и цинизм отношения человека к Природе и его изощренные методы борьбы с Ней.

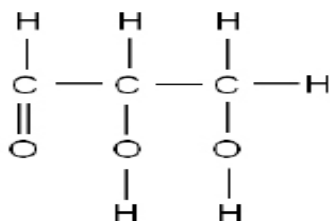
Это биосырье (березняки и осинники) дают возможность организации двух технологических процессов: газификации биомассы и производства этанола. Для стабилизации и повышения надежности сырьевой базы можно по примеру Швеции организовать плантации (поля) по выращиванию гибридных ивняков с быстрым ростом биомассы (до 3 м. в год).

Причем с этим нельзя медлить, этим заниматься нужно уже сегодня, учитывая складывающуюся энергетическую ситуацию и сложившуюся катастрофическую экологическую ситуацию в России.

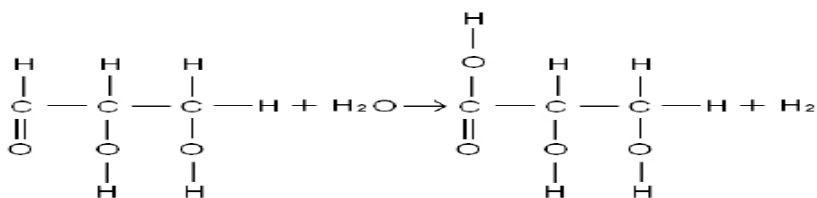
Технологии переработки биомассы базируются на двух процессах: ферментации и анаэробном сбраживании, которые мы рассмотрим более подробно.

7.2. Ферментация.

Производство этанола основано на ферментации глюкозы, первой стадией которой является ее ферментативное расщепление на две одинаковые трехуглеродные молекулы глициринового альдегида:



Далее альдегид реагирует с водой и окисляется до глицириновой кислоты с помощью фермента, который отщепляет два атома водорода.



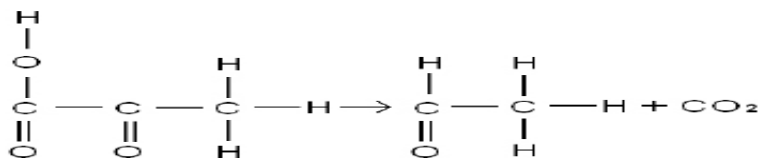
Глицириновый
альдегид

Вода

Глицириновая
кислота

Водород
(связан с
ферментом)

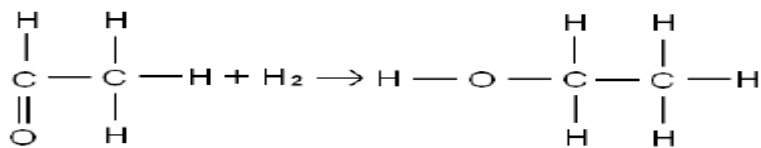
Глицериновая кислота теряет одну молекулу воды и превращается в пировиноградную кислоту, которая расщепляется на уксусный альдегид и углекислый газ. Таким образом, шестиуглеродная глюкоза превращается в двухуглеродный уксусный альдегид, в котором атомов углерода столько же, сколько и в этаноле:



Пировиноградная
кислота

Уксусный
альдегид

Наконец, уксусный альдегид взаимодействует с ферментом, несущим водород и превращается в этанол, при этом фермент регенерируется:



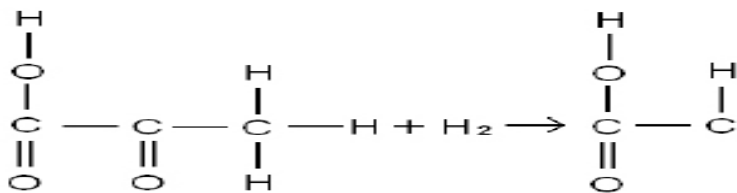
Уксусный
альдегид

Водород
(связан с ферментом)

Этанол

Последовательность, приведенная выше - один из путей использования микроорганизмами глюкозы. Это путь метаболизма *Saccharomyces cerevisiae* - дрожжей, обычно применяемых в ферментации сахаров до этанола.

Преобразование глюкозы в мышцах животных имеет тот же самый путь до момента получения пировиноградной кислоты. В мышцах эта кислота напрямую (без получения ацетиальдегида) взаимодействует с соединенными с энзимами водородом. В результате получается молочная кислота:



Пировиноградная
кислота

Водород
(связан с ферментом)

Молочная кислота

Общая реакция ферментации глюкозы выглядит следующим образом:



Теплота сгорания глюкозы $15,6 \text{ МДж/кг.}$ и, поскольку ее молекулярная масса равна 180 дальтон , то теплота сгорания 1 кмоль вещества составляет $2,81 \text{ ГДж}$. Этанол имеет удельную теплоту сгорания $29,7 \text{ МДж/кг.}$ и молекулярную массу 46 дальтон . Отсюда удельная теплота сгорания 1 кмоль этанола $1,37 \text{ ГДж}$. При сгорании 2 кмоль будет получено $2,73 \text{ ГДж}$ теплоты соответственно. Следовательно, преобразование глюкозы в этанол характеризуется очень высокой эффективностью: $2,73/2,81=0,975$.

7.3. Анаэробное сбраживание.

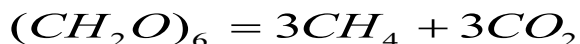
Ферментация превращает лишь некоторые входящие в состав биомассы вещества (сахара) в смесь этанола с водой, из которой спирт затем выделяется путем дистилляции.

Анаэробное сбраживание в противоположность ферментации превращает существенно большее количество веществ растительного и животного происхождения в метан - газ, который практически нерастворим в воде, образуется в природе естественным путем и может быть получен в больших количествах с

минимальными затратами энергии.

Сбраживание является эффективным процессом переработки биомассы, поскольку большая часть энергии исходного сырья переходит в образующийся метан, и только малая ее часть потребляется клетками микроорганизмов.

Рассмотрим брожение глюкозы:



Теплота сгорания 1 кмоль глюкозы - 2,81 ГДж, 3 молей метана - $3 \cdot 0,89 = 2,67$ ГДж. Таким образом 95% энергии глюкозы переходит в метан.

Анаэробное сбраживание проходит в три отдельных этапа:

Первый этап - совокупность разнообразных реакций, которые проходят с участием нескольких типов бактерий и приводят к разложению веществ на фрагменты с малой молекулярной массой:

- полисахариды превращаются в сахара;
- протеины превращаются в пептиды и аминокислоты;
- жиры - в глицерин и жирные кислоты;
- нуклеиновые кислоты - в гетероциклические азотные соединения, рибозу и неорганические фосфаты.

Второй этап - дальнейшее разложение, проходящее при участии ацетогенных бактерий, которые конвертируют спирты и высшие кислоты в уксусную кислоту, водород и диоксид углерода.

Третий этап - уксусная кислота, водород и диоксид углерода, образованные на первом и втором этапах, используются метаногенными археобактериями (археями) с образованием метана и диоксида углерода из кислоты и водорода.

Таблица 7.1.

Оценка изменения свободной энергии в некоторых реакциях
анаэробного брожения

Реакции	Свободная энергия МДж/моль
<i>Ферментальные бактерии</i>	
$C_3H_{10}O_5 + H_2O \rightarrow (CH_2O)_6$	-17,7
$(CH_2O)_6 \rightarrow 3CH_3CO_2^- + 3H^+$	-311
$(CH_2O)_6 + 2H_2O \rightarrow CH_3CH_2CO_2^- + H^+ + 3CO_2 + 5H_2$	-192
$(CH_2O)_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2CO_2^- + H^+ + 2CO_2 + 2H_2$	-264
$(CH_2O)_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 12H_2$	-25,9
<i>Ацетогенные бактерии</i>	
$(CH_2O)_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3CO_2^- + 2H^+ + 2CO_2 + 4H_2$	-216
$CH_3CH_2CO_2^- + H^+ + 2H_2O \rightarrow CH_3CO_2^- + H^+ + CO_2 + 3H_2$	+71,7
$CH_3CH_2CH_2CO_2^- + H^+ + 2H_2O \rightarrow 2CH_3CO_2^- + 2H^+ + 2H_2$	+48,3
$CH_3CH_2OH + H_2O \rightarrow CH_3CO_2^- + H^+ + 2H_2$	+9,7
$2CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_3CO_2^- + H^+ + 2H_2O$	-94,9
<i>Метаногенные археи</i>	
$CH_3CO_2^- + H^+ \rightarrow CH_4 + CO_2$	-35,8
$2CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$	-131
$HCO_3^- + 4H_2 + H^+ \rightarrow CH_4 + 3H_2O$	-136
Условия: $t = 25^\circ C$, $pH = 7$	

Современная таксономия относит все живые формы к одному из трех классов: эубактерии (истинные бактерии, в которых генетический материал не собран в ядро), архебактерии (археи) и эукариоты (организмы, чьи клетки имеют ядра). Некоторые из архей проявляют необычные свойства, выживая и процветая при экстремально высоких температурах (свыше 100°C); это гипертермофилы. В то же время другие микроорганизмы являются психрофильными, мезофильными, термофильными и т.д. Ферменты из гипертермофилов, стабильные при высоких температурах, были адаптированы к промышленным процессам, идущим при повышенных температурах. Заметим, что приведенная выше классификация живых форм недействительна для вирусов, которые с описанной точки зрения не могут рассматриваться как живые организмы.

В таблице 7.1 показаны реакции, которые происходят на каждом из указанных выше этапов. Результатом процесса сбраживания является образование так называемого биогаза - смеси метана (65%) и углекислого газа. На первом и втором этапах в процессе сбраживания принимают участие, как облигатные анаэробы, так и факультативные анаэробные бактерии, которые могут существовать при отсутствии кислорода, но не подавляются им. На третьем этапе работают исключительно анаэробные археи, которые не переносят присутствие кислорода. Таким образом, брожение является результатом совместной деятельности многих микроорганизмов - целостной экологической системы.

Скорость протекания процесса сбраживания лимитирует третий этап, в котором участвуют метаногенные организмы.

Брожение легко продемонстрировать в лабораторных условиях, смешивая, например, органический материал с водой и помещая его в герметическую емкость (рис. 7.1 а) Через центральное отверстие лабораторного метантенка происходит загрузка смеси воды с органическим материалом, левое отверстие предназначено для отбора проб жидкости (в основном для определения рН), правое - для выхода биогаза. Выделяющийся газ можно очистить, пропуская его через воду..

Температуру герметической емкости (метантенка) необходимо поддерживать около 37°C . По истечении нескольких дней объем смеси значительно уменьшится, что сигнализирует о наступлении этапа образования кислоты. Первоначально выделяется небольшое количество газа, при этом пробы показывают, что происходит поглощение кислорода. Вскоре газ начинает выделяться из жидкости, причем в его составе сначала преобладает углекислый газ. Примерно через *10 дней* в составе газа начинает появляться метан, и его концентрация быстро нарастает до некоторого постоянного уровня.

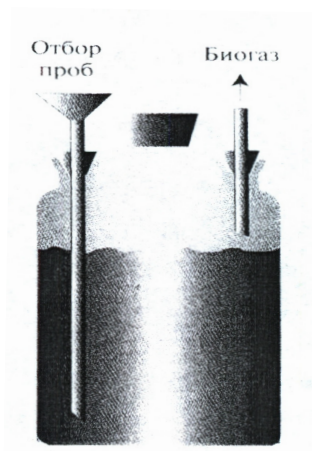


Рис. 7.1 а. Лабораторный метантенк (установка для анаэробного сбраживания)

Скорость производства газа (скорость сбраживания) изменяется как показано на рис. 7.2. Изменяется также и суммарное количество получаемого биогаза (рис. 7.3).

На практике промышленные метантенки работают либо в режиме периодического действия, либо непрерывно. Метантенки периодического действия загружаются густой суспензией, затем герметизируются, и в них начинают последовательно развиваться виды бактерий, как указывалось ранее. В этом случае в системе никогда не достигается состояние равновесия и процесс

продолжается долго от 30 до 60 дней.



Рис. 7.2. Типичный характер изменения скорости метаногенеза в периодическом процессе.

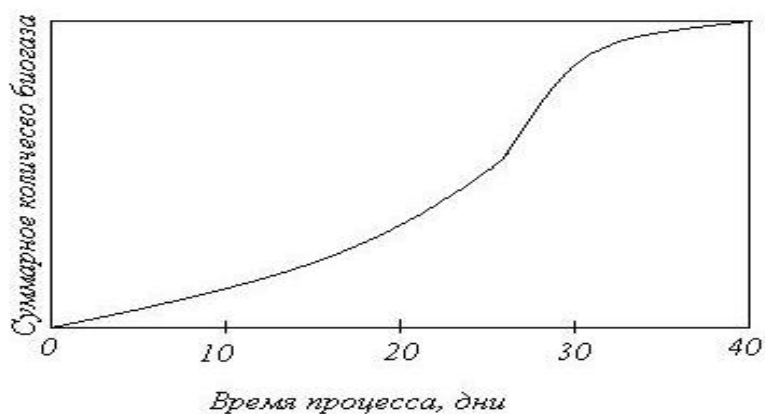


Рис. 7.3. Суммарное количество получаемого биогаза в периодическом процессе.

В метантенки непрерывного действия смесь воды и органического вещества непрерывно (или порциями) подается на вход, в то время как переработанная смесь удаляется на выходе. Органический материал медленно движется через объем метантенка, где происходят различные реакции в приблизительно равновесных условиях. В этом случае достигается значительное ускорение процесса до 10 - 20 дней. Существенная продолжительность процесса приводит к необходимости создавать метантенки больших размеров. А это ведет в свою очередь к росту затрат.

Из подаваемого в метантенки сырья - смеси воды и измельченной органики - лишь часть твердого вещества в виде суспензии может быть подвержена брожению, а другая часть - нет. Первую принято называть летучей частью твердой фазы (volatile solid - VS), а вторую - нелетучей, химически связанной частью твердой фазы (fixed solid - FS). Летучая часть VS - это та часть исходной биомассы, которая может быть конвертирована до CH_4

Продуктивностью метаногенеза Y называют количество метана, получаемого из 1 кг. VS. В зависимости от типа, поступающего в метантенки вещества максимально возможная продуктивность Y_0 , соответствующая полному разложению VS, изменяется от 21 до 29 МДж метана на 1 кг. VS.

В метантенках возможно подвергнуть сбраживанию только некую часть R от VS, поэтому реальная производительность

$$Y = RY_0.$$

Часть R зависит от конструкции метантенка, характеристик поступающей биомассы и времени процесса. Она варьирует от 25% при сбраживании соломы до 50% при сбраживании активного ила очистных сооружений.

На практике эффективность производства метана зависит также от допустимой скорости загрузки метантенка L , измеряемой в кг. VS на 1 м объема метантенка в сутки.

Общая производительность метантенка в итоге равна (Дж/ m^3 в сутки)

$$P = LRY_0$$

Для примера при $Y_0 = 25 \text{ МДж}(\text{CH}_4) / \text{кг}(\text{VS})$
и $R=0,4$ производительность P при измерении в
 $\text{МДж}(\text{CH}_4) / \text{м}^3$ в сутки равна:

$$P = 10L$$

при измерении в $\text{Вт}(\text{CH}_4) / \text{м}^3$

$$P = 100L$$

При работе метантенков периодического действия можно достигнуть скорость загрузки $1,5 \text{ кг}(\text{VS})\text{м}^{-3} / \text{сут}^{-1}$ и удельной мощности 150 Вт в расчете на 1 м^3 метантенка. Метантенки непрерывного действия вследствие более высокой скорости загрузки $[\text{добкг}(\text{VS})\text{м}^{-3} / \text{сут}^{-1}]$ могут обеспечивать производство метана в количествах, характеризующихся удельной мощностью около $600 \text{ Вт} / \text{м}^3$. Более высокая плотность энергопотоков означает большую экономическую рентабельность производства метана. Один из способов улучшения этого показателя - сокращение времени протекания метаногенеза, что может быть достигнуто различными методами:

- 1) обеспечение высоких температур брожения;
- 2) обеспечение перемешивания;
- 3) иммобилизацией микроорганизмов;
- 4) селекцией штаммов;
- 5) постоянным добавлением биомассы;
- 6) предварительной обработкой сбраживаемой массы.

Биогаз естественным образом образуется в мусорных свалках и на станциях очистки сточных вод. Свалочный газ при этом выделяется в атмосферу, загрязняя ее. Для полезного использования свалочного газа в теле мусорной свалки сооружают колодцы, через которые метан собирают в единый коллектор и подают (предварительно очистив) по трубопроводу к потребителю, как природный газ.

Станции очистки сточных вод также организуют сбор метана, однако чаще сжигают его в факелах, что в современных энергетических условиях недопустимо.

По оценкам, на существующих станциях очистки сточных вод крупных городов ежедневно образуется количество метана энергетически эквивалентное *5000 баррелей* нефти, не использовать которые сегодня - преступное расточительство.

Вопросы для самоконтроля:

1. Дайте сравнительный анализ использования этанола и бензина в ДВС.
2. Дайте характеристику сахарного тростника как эффективного сырья для производства этанола.
3. Опишите положительный опыт Бразилии организации эффективного производства этанола.
4. Опишите технологический процесс производства этанола.
5. Раскройте принцип процесса ферментации.
6. Опишите технологию анаэробного сбраживания.
7. Нарисуйте конструкцию лабораторного метантенка и опишите его работу.
8. Опишите процесс метаногенеза и укажите направления сокращения времени его протекания.

Глава 8. Выращивание биоэнергетического сырья

Переход человечества ~8000 лет назад от сбора дикорастущей пищевой биомассы к сознательному земледелию был закономерен и прогрессивен. Современное сельское хозяйство интенсивно развивается по направлениям химизации и генной инженерии. В частности, внесение на одном гектаре окультуренных земель 1 т минеральных удобрений эквивалентно дополнительному урожаю на этой площади (тонны):

сахарной свёклы.....	6...7
хлопка-сырца.....	6...10
картофеля.....	60...100

Передовая агротехника позволяет радикально увеличить урожайность самых традиционных сельскохозяйственных культур. В Перу на основе капельного орошения и внесения удобрений под каждый куст был достигнут один из мировых рекордов по сбору картофеля — 84 т/га. Пампа Ла-Хоя, где вырастили этот урожай, отличается солнечным и мягким (продолжительность солнечного сияния > 300 дней ежегодно при значениях минимальной и максимальной температуры + 10 и +25 °C) климатом, но полностью лишена воды. Для сельскохозяйственного освоения плодородных земель на площади > 10 тыс. га пампы оказалось нужным создать три водохранилища общим объёмом 380 млн. м³ и проложить 80 км. оросительных каналов и туннелей. Описанный пример дает понятие о затратах капитальных вложений и труда при ведении действительно интенсивного аграрного производства.

Равным образом предстоит выращивать и сырьё для биоэнергетических целей. Например, в Европе для годового производства 10 млн. т., — т.е. 1/10 объёма ежегодно потребляемого соляра, — биодизельного топлива из рапсового масла потребуются выращивать рапс (*Brassica napus*) на общей площади ~ 14.8 млн га. Для этого в одной лишь ФРГ следует увеличить посевные площади под рапс на 10 % издержки сельскохозяйственного производства и урожайность энергетической биомассы должны

обеспечивать приемлемую цену на биотопливо. В странах Евросоюза 1 м^3 биоэтанола, употребляемого в качестве автомобильного топлива, стоил (2005 г.) 590...600 евро. Отсюда издержки на производство того же объёма $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ из биомассы зерновых или свёклы не должны превышать 350 евро. В отношении биодизельного топлива необходимая урожайность рапса определяется как $\geq 4 \text{ т/га}$. Естественно, что достижение высокой продуктивности БЭС вместе со снижением расходов на его производство возможны опять-таки в условиях развитой агрокультуры.

8.1. Лесные энергетические плантации.

Термином «энергетические деревья» обозначаются быстрорастущие древесные виды: сосна, ольха, ива и пр. В условиях умеренного климатического пояса они характеризуются интенсивным приростом биомассы. Для тропиков «энергетическими» будут иные деревья. В Республике Конго, например, при помощи генной инженерии создана быстрорастущая форма эвкалипта. Дерево в течение года вырастает на 7 м.

Разведение на плантациях экспортной древесины редких пород подтверждает много более интенсивный прирост биомассы деревьев в культурных условиях. В Южной Азии годичный прирост ценной древесины (шорея, тик) весьма различен ($\text{м}^3/\text{га}$):

естественный.....	1,5
плантационный.....	9,0...10,0

В условиях ФРБ на энергетических плантациях разводят главным образом эвкалипт. Последний привлекателен быстрым ростом на бедных почвах. Древесина эвкалипта преобразуется путём гидролиза в топливный этанол. Кроме того, из неё вырабатывают древесный уголь, используемый бразильской металлургией как восстановитель.

По мнению А.А.Саламова и Г.Ф.Нефёдова, в Малазии было бы целесообразным разбивать энергетические плантации саговника (Cycas) на слабокультуренных заболоченных землях.

Саговник содержит в сердцевине ствола и корнях саго (крахмал) «Одно дерево дает обыкновенно 300 фунтов, а иногда может дать и от 500 до 600 фунтов. Из саго, выращиваемого на площади 100...125 тыс.га. выходил бы топливный этанол по цене 200...300 долларов США за 1 м³. Указанный объём био C₂H₅OH должен был обеспечить потребности Малайзии в моторном горючем.

8.2. Выращивание сахароносных и масличных культур.

Вышеупомянутый рапс выращивался ради получения технологического масла на больших площадях в Европе уже в середине XIX века. В Германии Brassica napus занимал тогда 0,3 млн.га. Семена рапса содержат (в процентах по массе):

масел.....	35...50
протеинов.....	19...31
целлюлозы.....	5...7

Урожайность этой культуры достигает 25 т/га, выход масла в среднем равен 0,3 т/т. Порядка 90 мас. % масла может быть преобразовано в заменитель нефтяного соляра — МЭЖК.

Другой перспективной масличной культурой в биоэнергетике может стать сурепица, или полевая капуста (Brassica campestris). Она даёт сурепное масло, близкое по составу и свойствам к рапсовому В частности, значения температуры застывания для рапсового и сурепного масел соответствуют -10 и -8 °С. Сурепица предпочтительна тем, что в умеренном климате произрастает как сорняк. Следовательно, её культурное разведение обещает высокую урожайность при сравнимой устойчивости к болезням и вредителям.

В ФРБ основными источниками биомассы для получения топливного этанола служат энергетические плантации сахарного тростника и маниока (Munihot utillissima) Площадь занятых ими окультуренных земель приближается к 1%. По мнению специалистов, если бы энергетические плантации заняли 14% площади сельскохозяйственного назначения, то производимый ежегодно в объёме 30млн.м³ био C₂H₅OH полностью заместил бы нефтяной

моторный бензин.

8.3. Топливное рисосеяние.

В Японии производство биоэтанола на топливо возможно на базе выращивания риса. Такие его сорта, как фуражный «Хо-куруку-193», неприхотливы, характеризуются высокой (на 25.. 37,5 % большей, чем у прочих) урожайностью и упрощённой агрокультурой. Имеются проекты занять под топливный рис ~710 тыс. га земель, пригодных для рисосеяния, в т. ч. и заброшенные. Из биомассы риса предполагается ежегодно производить 75... 150 тыс. м³ био C_2H_5OH . Указанный объем топливного спирта обещает годовую экономию 0,125...0,25 об. % нефтяного бензина.

8.4. Источник биогенного водорода.

H_2 как универсальный альтернативный энергоноситель имеет большое будущее. Поэтому представляет самый непосредственный интерес земная растительность, продуцирующая водород в процессе жизнедеятельности. Биогенный H_2 образующийся из фитомассы, суть продукт метаболизма бактерий *Rhizobiurn*, паразитирующих в галлах (гипертрофированных растительных тканях) бобовых. Плантации сои (*Glucine max*) в США ежегодно выделяют в атмосферу порядка 30 млрд. м³ газообразного водорода. В связи с этим небезынтересно окультуривание с возможным генетическим изменением микроорганизмов *Rhizobiurn* в целях адаптации последних к потреблению различных видов растительной биомассы. В случае успеха будет открыт и освоен возобновляемый источник водорода.

Перспективы наземного выращивания БЭС нередко оцениваются критически. Так весь посевной клин сахарного тростника на Кубе почти втрое меньше площади бразильских энергетических плантаций. Следовательно, топливный этанол тростниково-сахарного происхождения не может стать основой кубинской биоэнергетики.

Выходом из положения может стать аквакультура.

8.5. Биоэнергетическая аквакультура.

Освоение ресурсов пищевой биомассы в Мировом океане традиционно проводилось первобытным образом — сочетанием охоты и собирательства. Единственным отличием подобного освоения от свойственного временам палеолита является применение совершенных и совершенствующихся орудий: гидролокаторов бокового обзора, электрических неводов, плавучих баз-рыбозаводов и т. п. Охота ведётся в основном на рыбу, менее на ракообразных (крабов, омаров); собирательство же касается моллюсков. Баланс мирового улова в 1970 г. приводит К.Риффо (в процентном отношении):

рыба.....	91
моллюски.....	6
ракообразные.....	3

Многие специалисты отмечают монокультурный, направленный преимущественно на рыболовство, характер охотничье-собирательского морского хозяйства. По мнению Дж Куллини, ещё в 70-х гг. прошлого века рыболовный флот США отбраковывал до 4/5 массы улова, включая таких питательных и вкусных головоногих, как кальмары.

В описываемом примере интенсивный облов перуанских вод повлек за собой резкое уменьшение поголовья и соответственно объемов добычи анчо рыб. То же самое справедливо для иных регионов и популяций рыб. По-видимому, поэтому средняя ежегодная добыча рыбы в Мировом океане колебалась около 55 млрд. т. Этот улов соответствует предельным возможностям естественного воспроизводства рыбьих стад.

Необходимость перехода от охоты и собирательства к

планомерной аквакультуре, регулируемому разведению водной биомассы, назревает с давних пор. Выращивание пригодной в пищу биомассы производится вполне успешно. В частности, на морской ферме Лумми-Индианз (США, штат Вашингтон) культивировались мидии на канатах, свисавших с поплавков на поверхности моря. При глубине воды 20...300 м здесь с площади в один акр (~0,4 га) снимали до 60 т белковой массы моллюсков.

Рассмотрение океанской биомассы с точки зрения биоэнергетики позволяет уяснить, что для масштабного производства энергии непригоден наиболее распространённый объект промысла — рыба. Прежде всего, она имеет непреходящее значение как пища. Затем, рыбы, особенно крупные, вместе с морскими млекопитающими венчают пищевую «пирамиду» океана. Усвоение 1 т. фитопланктона через растительный зоопланктон приращивает рыбную биомассу на 1 кг. Поэтому БЭС следует искать на низших ступенях «пирамиды», имея в виду его непищевой характер (во всяком случае, малое пищевое потребление) и способность интенсивно прирастать при минимальном уходе. Этим критериям наилучшим образом соответствуют донные (бентосные) морские растения — водоросли и морские травы. Достоинства разведения подобного сырья очевидны:

- широкая распространённость в Мировом океане, не исключая арктические и антарктические воды;
- большая, быстро растущая биомасса;
- относительно небольшой объём потребления в пищу людьми и скормливания домашнему скоту;
- наличие опыта окультуривания.

О последнем необходимо сказать подробнее. В Японском море, у берегов Приморского края, ресурс биомассы пищевой водоросли — японской ламинарии (*Laminaria japonica* Aresch) в отдельные годы достигал 200...250 тыс. т. Ежегодная добыча доходила до 15 тыс. т. В водах Охотского моря и Тихого океана, омывающих Курильские острова, годовой вылов ламинарии мог бы превзойти 100 тыс. т. Плантации же *Laminaria japonica* требуют больших на 10.. 15 % по сравнению с промыслом

дикорастущих водорослей капитальных вложений, но и более продуктивны. В Приморье урожайность плантационной ламинарии была в среднем равна 70 т/га при максимальном значении 120 т сырой биомассы с гектара. Заняв плантациями около 5 млн. га прибрежных вод, можно было бы ежегодно снимать урожай в размере $200...350 \text{ тыс т}$. Между тем конструкции сооружений для выращивания водорослей весьма просты (рис.8.1). На изображённой схеме несущий канат и выростные верёвки, спускающиеся с него, служат субстратом для прикрепления и развития водорослей.

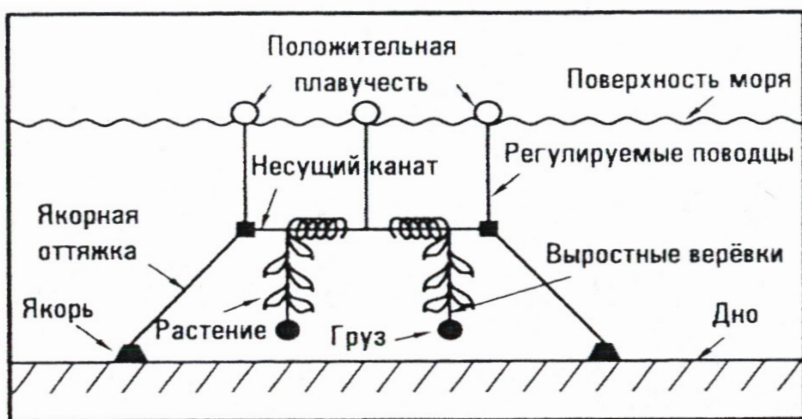


Рис. 8.1. Одна из конструкций для культивирования водорослей.

В литературе освещаются два направления энерготехнологической переработки водорослевой биомассы. Первое — это типичное анаэробное сбраживание с получением биометана. С центнера мокрых водорослей в интервале температур $25...55^{\circ}\text{C}$ получается в среднем — $28,1 \text{ м}^3$ чистого CH_4 . Выход биометана при ферментации этой разновидности биомассы выше, чем при переработке навоза КРС, травы и канализационного отстоя. Водоросли перед загрузкой в метантенки должны быть измельчены и истёрты. В реактор добавляется вода в количестве $1/20...1/10$ массы водорослей. Разложение биомассы длится $10...20 \text{ суток}$. Твёрдый остаток ферментации представляет собой

высококалорийный и витаминный корм для домашнего скота.

Второе без подробностей упоминает Дж. Куллини. Ферментация биомассы бурых водорослей ламинариевых (роды *Laminaria*, *Macrocystis*, *Nereocystis* и др.) и фукусовых (роды *Fucus*, *Sargassum*, *Ascophyllum* и т. п.) может продуцировать спирты и жидкие низкомолекулярные углеводороды. Продукты сбраживания в состоянии служить топливом для ДВС и замещать нефть в производстве пластмасс. Суть технологии переработки не раскрывается, исключая указание на необходимость использования многих тонн водорослей для получения одного барреля (159 литров) жидкого горючего. Однако следует отметить, что и урожайность бентосных морских растений велика.

8.5.1. Бурые водоросли.

Для культивирования представляет практический интерес прежде всего *Macrocystis pyrifera*. В водах Тихого океана у берегов Южной Калифорнии слоевища (рис. 8.2) отрастают ежедневно на 3 дм. Иначе говоря, темп прироста биомассы этой гигантской водоросли соответствует 18 % в сутки. Снятая и использованная водорослевая масса возобновляется в срок, меньший недели. В конце 60-х гг. XX века здесь уже эксплуатировались промышленные самоходные баржи добывающие до 300 т/сут дикорастущих водорослей. Убранные слоевища восстанавливались спустя несколько недель после очередной стрижки.

Слоевища поддерживаются в вертикальном положении за счёт наличия множества пузырьков воздуха у оснований листовидных пластинок. Поэтому культивирование *Macrocystis pyrifera* может проводиться на «ложном дне», или натянутой на лёгкую складную раму (поперечником до нескольких сотен метров) нейлоновой сети, поддерживаемой столбом в центре. В плане ложное дно» имеет вид затопленного на глубине ~20 м опрокинутого зонта. Стрижка верхних частей водорослей должна обеспечивать получение 5,6.. 23,5 млн. т. сухой биомассы ежегодно с площади в 1 км². Выход биометана в процессе ферментации оценивается

в пределах 157.. 660 млн м³/год. Этого количества CH_4 , достаточно, чтобы заместить до нескольких сотен тысяч тонн моторного топлива или снабдить бытовым газом 1...4 млн. человек.

В России окультуривание бурых водорослей возможно не только в дальневосточных, но и в арктических морях. В частности, в губе Кислой на площади 1,1 км² ежегодно прирастало 160 т биомассы водорослей рода *Fucus*. Около 1/4 этого объёма срывали и уносили штормы. Биопродуктивность всех — зелёных, бурых и красных — видов водорослей исчислялась в расчёте на 1 га следующим образом (т/год):

литораль.....50...60
сублитораль.....100...150

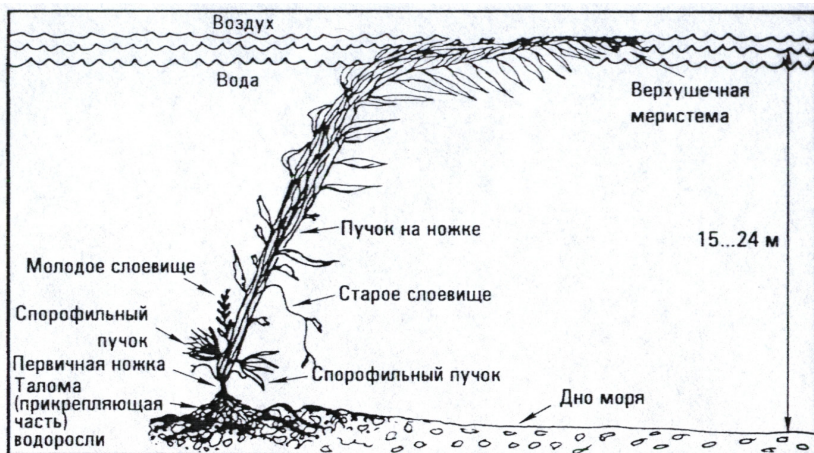


Рис. 8.2. Строение бурой водоросли *Macrocyctis pyrifera*.

В водах Белого моря у побережий Соловецких островов примитивная добыча ламинарии ручной драгой с карбаса (мореходной моторной лодки), осуществляемая одним человеком, давала за время отлива (~5ч) более 0,5 т. сырой ламинарии. Сбор при помощи металлических скребков, спускаемых на дно с борта мотодоры, достигал 10...15 т. влажной биомассы за один выход судна в море с утра до полудня. Однако характерная для Арктики в целом и Северного Ледовитого океана в частности уязвимость

живой природы налагает существенные ограничения на масштаб и темпы всех видов промысла, в т. ч. водорослевого. Восстановление массы ламинарии определяется для условий Белого моря сроком в пять лет. Соответственно биоэнергетическое использование арктических водорослей предполагает именно их выращивание.

8.5.2. Морские травы.

Эти высшие растения характерны для прибрежных вод тропической зоны Мирового океана. На Кубе наиболее широко распространена сейба, или черепашья трава (*Thalassia testudinum*).

В благоприятных условиях стебли черепашьяй травы отрастают на 2 см. в течение недели. Итак, в общем случае снятая под корень биомасса должна будет возобновиться за 25 недель, т.е. имеется возможность получать по два урожая *Thalassia testudinum* ежегодно. Эти несложные расчеты относятся к промыслу дикорастущей сейбы, плотность биомассы которой не достигает 40 т/га. В природных условиях рост травы на дне при глубине воды < 11 м. обеспечивается 2 % объема солнечной энергии, проникающей сквозь слой воды. Искусственное выращивание сейбы значительно увеличит ее биопродуктивность.

Прирост фитомассы в Мировом океане действительно колоссален. Только для водорослей он оценён в 550 млрд. т. ежегодно. Биомасса фитопланктона на 1 га. поверхности океана возрастает на 24,7 т/год. Доля органического вещества в объёме фитопланктона составляет 1/4...3/4, состав же его таков (в процентном отношении по массе):

белки.....	25...65
жиры.....	2...10
углеводы.....	0...35

Переработка морской органики в принципе способна дать топливо любого состояния и состава. Имеются сообщения об опробованной в Японии технологии преобразования фитопланктонной органической массы в смесь жидких углеводов с выходом 50 мас. %. Затем из этой смеси выделяются керосин и высококачественный (октановое число 95) бензин с выходом 1,5 и 6,2 мас. % соответственно. Биомасса водорослей не содержит лигнин. В органической массе морских трав относительно немного — 50...55 мас. % — воды. Эти качества повышают их ценность для переработки путём анаэробного сбраживания в биогаз. Энергетический ресурс морской биомассы только растительного происхождения огромен и непрерывно возобновляется. Использование океанского БЭС будет наиболее технологичным и наименее экологически вредным в условиях развитой аквакультуры.

Последняя для бурых водорослей может осуществляться на плавучих полупогружённых платформах. «Огромные дрейфующие морские леса, вероятно, будут обслуживаться людьми на небольших, но мореходных судах. Они будут постоянно следить за направлением движения этого большого, погружённого в море препятствия. Время от времени водоросли придется отводить буксирами от морских путей и островов... Сбор урожая и обработку можно будет производить на плавучих заводах, после чего складные поля (с конструкцией «ложного дна». — С.Д.) будут возвращаться в исходный пункт. По соображениям Дж Куллини, «ложное дно» при больших размерах и массе растущих *Macrocystispyrifera* будет трудно и даже невозможно заякорить, как это предусмотрено для неподвижных водорослевых субстратов. Дрейф же последних с севера на юг в зоне Калифорнийского течения решит эту проблему.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие культуры целесообразно выращивать для выработки энергии?
2. Что можно производить из рапса?
3. Какая площадь необходима под рапс для производства 10 млн. т. соляра?
4. Раскройте понятие «Энергетический лес».
5. В чем смысл выращивания сахарных и масличных культур?
6. Что дает топливное рисосеяние?
7. Раскройте технологию получения биогенного водорода.
8. В чем преимущества выращивания аквакультуры?
9. Расскажите о строении бурой водоросли.
10. Нарисуйте подводную конструкцию для культивирования водорослей.
11. Опишите процесс выращивания, сбора и использования бурых водорослей.
12. Какими признаками обосновывается целесообразность культивирования морских водорослей?
13. Изложите перспективу развития культивирования лесной (кустарниковой) энергетической биомассы.
14. Изложите перспективу развития культивирования морской энергетической биомассы.

Глава 9. Фотосинтез, как принципиальная основа будущих энергетических технологий

Из предыдущих глав очевидно, что для обеспечения энергетического изобилия человечеству нужно было изучать Природу и копировать ее энергетические процессы, а не направлять все усилия на добычу ископаемых энергетических ресурсов недр Планеты.

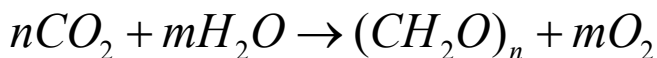
Во-первых, эти усилия не дали энергетического изобилия; во-вторых, они привели к глобальному экологическому кризису Планеты.

Переориентировавшись на биоэнергетику, человечество будет вынуждено реализовать природные энергетические принципы в своих технологических процессах.

Когда человечество освоит культивирование энергетических лесов и энергетических акваплантаций, ему (человечеству) необходимо будет освоить природный фотосинтез как технологическую основу бионергетики.

Фотосинтез - основа биологической жизни на Земле. Это чрезвычайно сложный процесс, изучением которого занимается физиология и биохимия. Но нас жизнь зеленого листа растения интересует с точки зрения инженера. Автор уверен, что постигая процессы фотосинтеза, человек сможет создавать технологические процессы по эффективности приближающиеся к процессам Природы. Инженерное изучение фотосинтеза будет приближать нас к основной цели, которую преследует автор в этом учебном пособии: «Заложить в будущего инженера сознание Со-творца с Природой». Автор уверен, что только при таком уровне сознания и инженерного мышления человечество Земли придет к энергетическому изобилию, которое является основой изобилия жизни человечества на Земле.

Формально фотосинтез - это процесс, в котором углекислый газ и вода трансформируются в углеводы и кислород согласно уравнению



Это сложное явление нельзя свести к простой диссоциации углекислого газа с последующим присоединением высвободившегося углерода к молекуле воды, как может показаться на первый взгляд при анализе приведенного выше химического уравнения. С помощью радиоактивных изотопов было экспериментально установлено, что выделяющийся кислород образуется не из молекул CO_2 , а из молекул воды. На рис. 9.1. схематически представлены элементы процесса фотосинтеза в зеленом листе. Фотохимические реакции протекают в органах, называемых хлоропластами. Они имеют проницаемую стенку - верхний эпидермис, позволяющий свету проходить через нее. Как видно из рисунка, вода проходит к хлоропласту через поры, в то время как углекислый газ проникает из атмосферы по каналам, отверстия которых располагаются в нижнем эпидермисе. Такие отверстия называются устьица. Оба слоя эпидермиса покрыты воско-видным слоем непроницаемых для воды. Поэтому потери воды в листе могут происходить только через устьица.

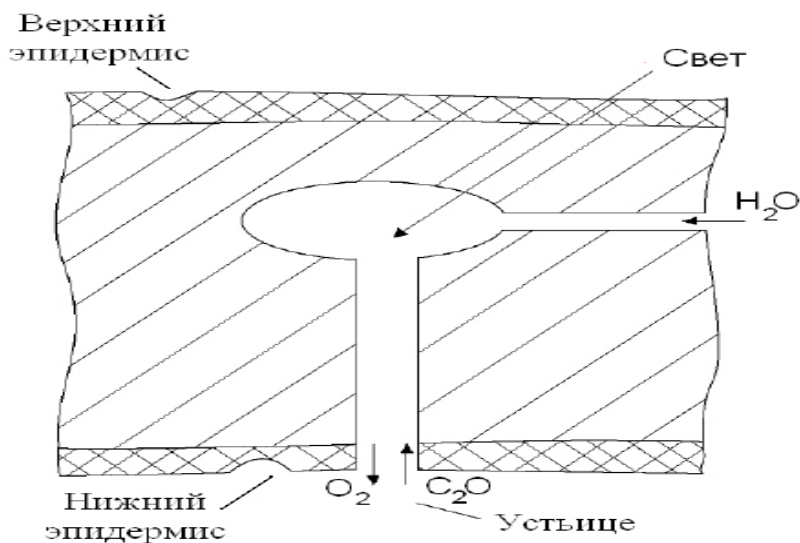


Рис. 9.1. Схема фотосинтезирующей единицы зеленого листа.

Молекулы углекислого газа из атмосферы движутся к хлоропластам посредством диффузии. Этот диффузионный поток W пропорционален разности концентраций углекислого газа в атмосфере $[(CO_2)_A]$ и в хлоропласте $[(CO_2)_C]$. Кроме того он пропорционален устьичной проводимости V , которая имеет размерность скорости:

$$W = V[(CO_2)_A - (CO_2)_C] \quad (9.1)$$

Стоком CO_2 являются таким образом, реакции фотосинтеза в хлоропластах. В устойчивом состоянии скорость поглощения углекислого газа в пересчете на единицу площади зеленого листа равна входящему потоку этого газа. Она пропорциональна плотности светового потока P ($Вт/м^2$), концентрации углекислого газа $[(CO_2)_C]$ ($кмоль/м^3$) и скорости реакции r ($м^3/Дж$). Таким образом:

$$W = r[CO_2]_k P \quad (9.2)$$

Тогда из формул (9.1) и (9.2) получаем:

$$W = \frac{r(CO_2)_A P}{1 + (r/V)P} \quad (9.3)$$

Здесь W показывает количество CO_2 ($кмоль$), поглощаемых за секунду квадратным метром зеленых листьев. При низкой плотности светового потока, т.е. когда $P \ll V/r$, поглощение углекислого газа пропорционально концентрации этого газа в атмосфере и плотности потока солнечной энергии:

$$W = r(CO_2)_A P \quad (9.4)$$

Когда этот поток велик, т.е. при $P \gg V/r$, поглощение углекислого газа определяется величиной:

$$W = V(CO_2)_A \quad (9.5)$$

Как видно, в этом случае величина W не зависит от P и пропорциональна CO_2 .

Скорость реакции r - основополагающая характеристика процесса фотосинтеза и должна быть по идее одинаковой для всех известных современных растений. Исследования, проведенные физиологами растений, подтверждают это предположение для обычной концентрации кислорода в атмосфере.

Значение r может быть определено путем измерения скорости поглощения CO_2 в зависимости от плотности потока солнечной энергии в область значений, для которой верно уравнение (9.4). В этом случае имеем:

$$r = \frac{1}{(CO_2)_A} * \frac{W}{P} \quad (9.6)$$

Из экспериментальных данных видно, что угол наклона кривой зависимости W от P в диапазоне линейной зависимости (рис. 9.4) дает значение $178 * 10^{-12}$ кмоль / Джс . Измерения проводились при нормальных условиях и концентрации диоксида углерода 330 ppm, т.е. при парциальном давлении 330 мкатм. При нормальных условиях объем, занимаемый 1 кмолем идеального газа, равен:

$$V = \frac{RT}{P} = \frac{8314 * 298}{1,0133 * 10^5} = 24,45 \text{ м}^3 / \text{кмоль}$$

поэтому 330 ppm соответствует

$$(CO_2) = \frac{330 * 10^{-6}}{24,45} = 13,5 * 10^{-6} \text{ кмоль} / \text{м}^3$$

Таким образом

$$r = \frac{178 * 10^{-12}}{13,5 * 10^{-6}} = 13,2 * 10^{-8} \text{ м}^3 / \text{Джс}$$

и

$$W = \frac{13,2 * 10^{-6} (CO_2)_A P}{1 + 13,2 * 10^{-6} P/V} = \frac{178 * 10^{-12} P}{1 + 13,2 * 10^{-6} P/V} \quad (9.7)$$

Уравнение (9.7) позволяет рассчитать скорость поглощения CO_2 в зависимости от плотности потока солнечной радиации для любого растения при известном значении устьичной проводимости V . Произвольно предположив, что $V=0,004$ м/с и не зависит от плотности потока солнечной энергии, получим результат, представленный на рис. 9.2.

На основе описанных выше представлений мы можем определить зависимость эффективности фотосинтеза от плотности потока солнечной энергии. При этом продуктом фотосинтеза является энергия, запасенная в образуемой биомассе – около 440 МДж на 1 кмоль углерода. Это значение превышает значение энтальпии образования углекислого газа (393,5 МДж/кмоль). Дополнительная энергия поступает от водорода, который так же присутствует в тканях растений.

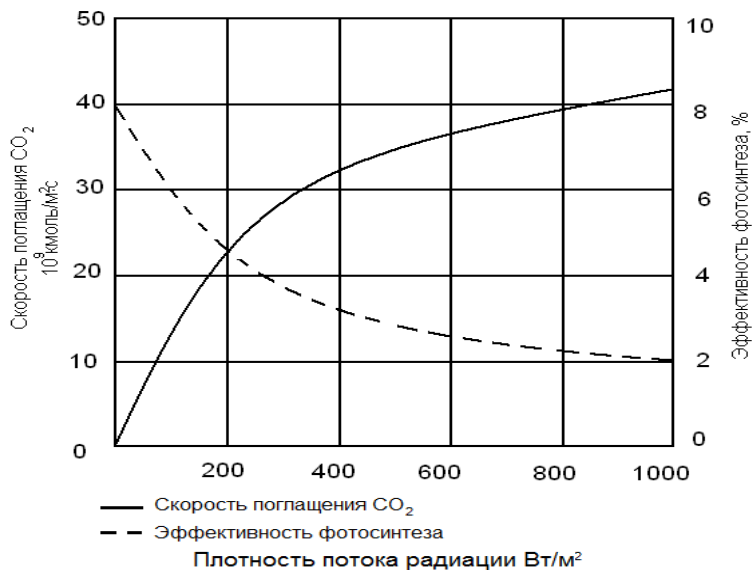


Рис.9.2. Уменьшение эффективности фотосинтеза при росте плотности падающей радиации (упрощенная модель фотосинтеза) .

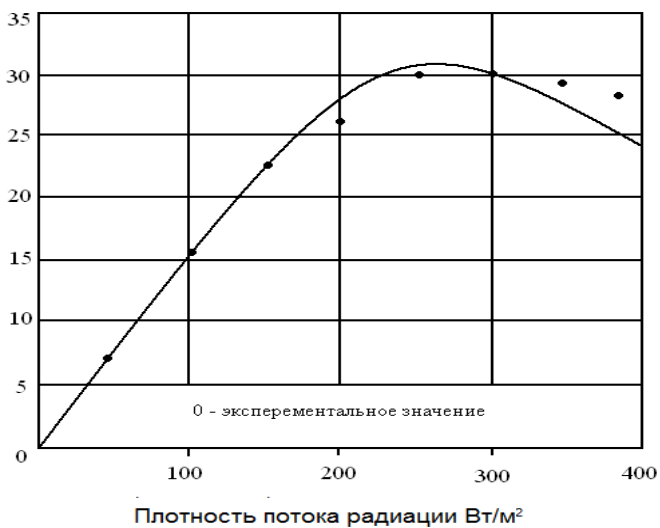


Рис.9.3. Максимальное соответствие теоретических данных и эксперимента, полученное при учете зависимости V от плотности потока радиации.

Поглощение 1 кмолья соответствует накоплению 440 МДж энергии, поэтому скорость этого накопления равна 440 МВт/м² и тогда эффективность фотосинтеза равна

$$n_V \approx 4,4 * 10^8 W / P$$

В таком случае максимально возможная эффективность фотосинтеза будет:

$$4,4 * 10^8 * 178 * 10^{-12} = 0,078$$

Для проверки правильности описанной нами упрощенной модели необходимо экспериментально измерить скорость поглощения углекислого газа в зависимости от плотности потока солнечной энергии. В экспериментах, полученных для обычной лебеды, было показано, что вид зависимости W от P совпадает с теоретическим (рис. 9.3).

Процесс регулирования устьичной проводимости можно описать следующим образом. Края устьиц образованы специальными клетками, которые будучи наполненными водой, разбухают. При высыхании эти клетки становятся плоскими и закрывают входы. Возможно, что на размеры устьичных щелей опосредованно влияют интенсивность падающего солнечного света, поскольку в этом случае ускоряются высушивание поверхности листа. Поэтому вполне оправданным может быть предположение, согласно которому значение V уменьшается с ростом светового потока P . Тогда увеличение освещенности может вызвать падение устьичной проводимости и уменьшение эффективности фотосинтеза.

Эксперименты с двумя видами лебеды *Atriplex rosea* и *Atriplex triangularis* показывают, что фотосинтез при одинаковых условиях [$T = 25^\circ C, (CO_2)_A = 300 ppm$] в *Atriplex rosea* существенно более эффективен, чем в *Atriplex triangularis* (рис. 9.4).

Заметим, что скорость поглощения углекислого газа для обоих растений достигла максимальных значений при плотности потока солнечной радиации значительно ниже 1000 Вт/м^2 , характерной для безоблачного полуденного неба. Очевидно, что зеленые растения приспособились к некоторой величине радиации, падающей на поверхность листа, а не к максимальному ее значению, которое часто не достижимо, поскольку листья затемняют друг друга.

Для объяснения различий, которые наблюдаются в фотосинтезе двух видов *Atriplex*, необходимо привлечь дополнительную информацию о механизме фотосинтеза.

В большинстве растений фотосинтез протекает при участии двух пигментов – хлорофилла *a* и хлорофилла *b*. Они обладают зеленой окраской, т.е. отражают зеленую часть солнечного спектра, которая поэтому не может использоваться растением и, следовательно, теряется. Поскольку листья имеют зеленый цвет, они также не способны эффективно использовать часть спектра и преобразовывать значительную долю энергии солнечного излучения, относящуюся к зеленой части спектра. На рис. 9.5. представлены спектры поглощения для двух видов хлорофилла.

Во всех фотосинтезирующих растениях преобразование углекислого газа в углеводы происходит в соответствии с реакцией, названной циклом Кальвина – Бенсона (Calvin – Benson). Механизм этой реакции включает в себя взаимодействие CO_2 с пятиуглеродной молекулой сахара рибулозо – 1,5 – бифосфатом (RuDP) с образованием двух молекул трехуглеродного соединения – фосфоглицериновой кислоты (PGA). Эти кислоты затем частично конвертируются до углеводов, частично в RuDP, замыкая тем самым цикл.

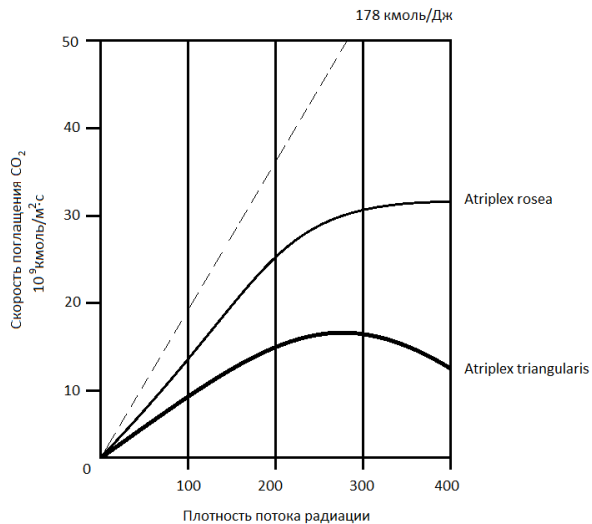


Рис.9.4. Скорость поглощения углекислого газа двумя видами растений Artiplex

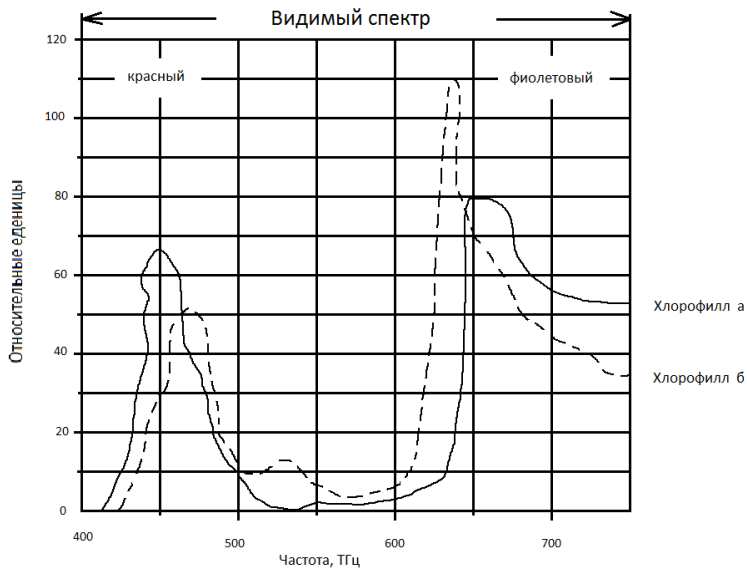


Рис.9.5. Спектры поглощения хлорофилла а и б

Отличие от фотосинтеза *Atriplex rosea* и *Atriplex triangularis* кроется не в основном цикле, а в том, каким образом CO_2 поступает в цикл. В случае *Atriplex triangularis* атмосферный углекислый газ поступает непосредственно в RuDP, в то время как в *Atriplex rosea* работает промежуточный вспомогательный «накачивающий» механизм, который доставляет углекислый газ к RuDP способом, напоминающим доставку молекул кислорода к животным клеткам посредством циркуляции крови (рис. 9.6).

«Гемоглобином» растений является PEP (фосфоэколпируват), который имеет большое сродство с CO_2 . Конечные продукты реакции PEP – CO_2 – это яблочная и аспарагиновая кислота, каждая молекула которых содержит четыре атома углерода. В присутствии ферментов обе кислоты высвобождают CO_2 , поставляя его RuDP, а сами вновь трансформируются в PEP, замыкая таким образом цикл.

Растения, которые используют PEP и соответственно синтезируют 4-углеродную кислоту в качестве первого продукта цепочки фотосинтеза, называются C_4 – растениями; растения у которых первый продукт фотосинтеза – 3 – углеродная кислота, называется C_3 – растениями. В первом приближении практически все деревья и кустарники можно считать C_3 – растениями, а травы тропических саванн и осока являются C_4 – растениями.

Углекислый газ гораздо более активно реагирует с PEP, чем с RuDP. Кроме того, когда соотношение CO_2/O_2 становится малым, совместное воздействие кислорода с RuDP ингибирует процесс фотосинтеза. Таким образом, при низких концентрациях CO_2 растения – C_3 прекращают фотосинтез, в то время как в C_4 – растениях этот процесс продолжается. Низкие концентрации CO_2 в хлоропластах возникают в том случае, когда в результате обезвоживания устьичная проводимость становится недостаточной. Это, с одной стороны, приводит к сохранению воды в клетках, поскольку испарение идет именно через устьица, но, с другой стороны, снижает поток углекислого газа. Тем не менее обменные процессы в растениях продолжают даже при подавленном фотосинтезе. Так продолжается дыхание, расходование углеводов,

выделение CO_2 – процесс, противоположный фотосинтезу, происходящий в любом растении в темноте. Он называется фотодыханием и не происходит в C_4 – растениях. В результате C_3 – растения прекращают фотосинтез при высоких интенсивностях солнечной радиации и становятся в этих условиях производителями CO_2 .

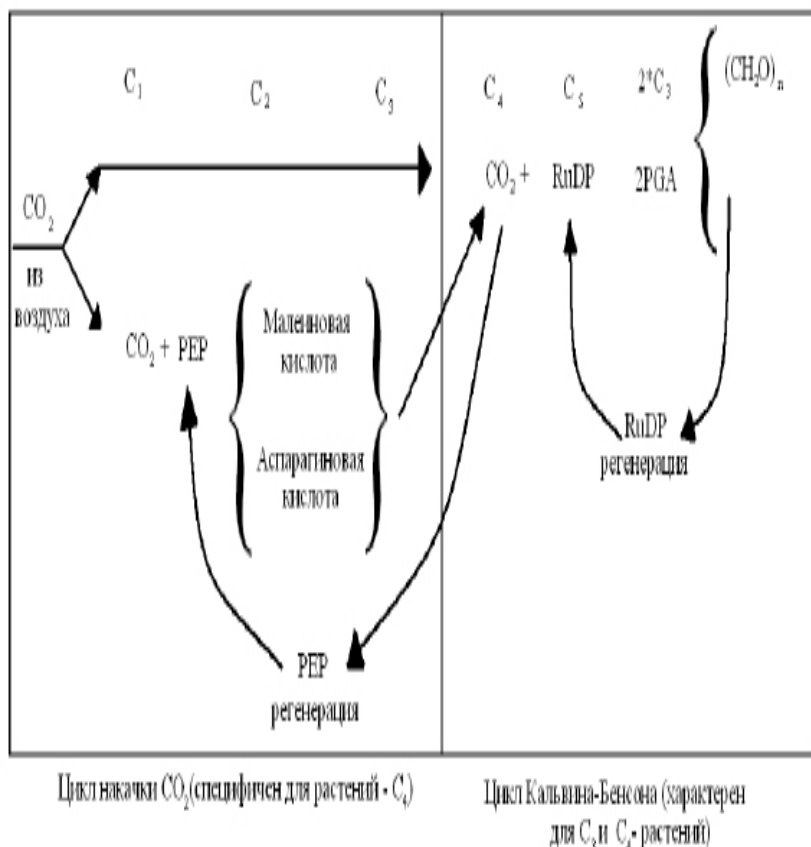


Рис. 9.6. Различия между C_3 - и C_4 - растениями заключается в том, что у последних существует дополнительный механизм улавливания CO_2 из воздуха и доставки его в цикл Кальвина-Бенсона. Символами $\text{C}_1, \text{C}_2, \dots, \text{C}_3$ обозначается число атомов углерода в молекуле.

На примере интересного эксперимента можно продемонстрировать различия между C_3 – и C_4 – растениями: живые растения, относящиеся к обоим видам, помещались под стеклянными колпаками и освещались. Оба растения процветали до тех пор, пока получали необходимое количество CO_2 . Вскоре углекислый газ под колпаками закончился и C_3 – растения переходили на фотодыхание, усыхая и выделяя CO_2 , который C_4 – растения благополучно использовали для собственного роста.

Когда обеспечение углекислым газом достаточно, то C_4 – растения теряют свое преимущество, поскольку более не требуется механизм «накачка» при фотосинтезе, когда потребляется дополнительная энергия. Рис. 9.7. показывает, что при высоких концентрациях CO_2 фотосинтез *Atriplex rosea* (C_4) менее эффективен, чем *Atriplex triangularis* (C_3).

Преимущество C_4 – растений над C_3 – растениями максимально при высоких значениях солнечной радиации, высоких температурах и лимитированном обеспечении водой. Такие условия имеются в полузасушливых тропических регионах. Например, такое тропическое растение, как сахарный тростник, является именно C_4 – растением. Подобные организмы превосходят C_3 также при малых концентрациях CO_2 . Так, предполагается, что во время последнего ледникового периода (примерно 20000 лет назад) парциальное давление CO_2 в атмосфере снизилось до 190÷200 мкатм и это вызвало замещение лесов травами во многих регионах.

Для водных растений проблема сохранения водного запаса, конечно, не стоит, и можно предположить, что их устьица не имеют регулирующих клапанов; оторванные листья водных растений быстро вянут. В таких растениях устьичная проводимость не зависит от освещенности и скорость поглощения ими CO_2 не уменьшается при росте потока солнечной радиации.

Таким образом, сосудистые водные растения более эффективно производят биомассу, чем наземные растения. Это подтверждается высокой продуктивностью водяного гиацинта *Eichhornia crassipes*.

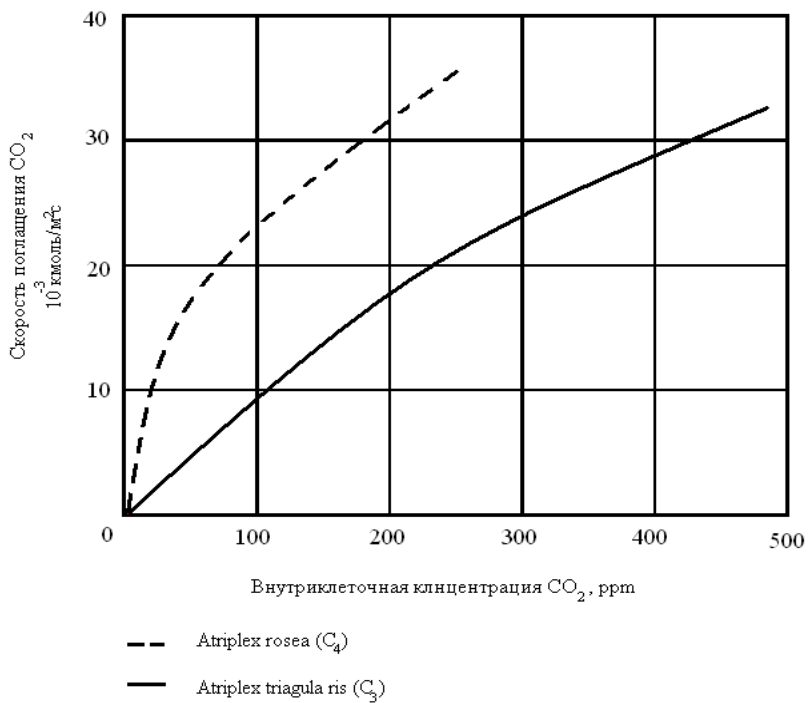


Рис. 9.7. При высоких концентрациях CO₂ C₃ - растения более эффективны, чем C₄

Вопросы для самоконтроля:

1. Для чего нужно инженеру изучение фотосинтеза?
2. В чем суть процесса фотосинтеза?
3. Нарисуйте схему фотосинтезирующей единицы зеленого листа и опишите осуществляемый ей фотосинтез.
4. Для чего нужны в фотосинтезе два противоположных периодических процесса: поглощение (выделение) CO_2 и поглощение (выделение) O_2 ?
5. От чего зависит скорость поглощения CO_2 в фотосинтезе?
6. Как интенсивность солнечного излучения влияет на эффективность процесса фотосинтеза?
7. Что такое устьичная проводимость и от чего она зависит?
8. Какой органический пигмент необходим для процесса фотосинтеза?
9. Объясните биологический механизм цикла Кальвина – Бенсона (Calvin – Benson).
10. Объясните механизм «накачки» растительных клеток углеродом.
11. В чем принципиальное отличие фотосинтеза и C_3 – и C_4 – растений?
12. В чем принципиальное отличие фотосинтеза сухопутных и водных растений?
13. Почему сосудистые водные растения более эффективно производят биомассу, чем наземные растения?

Глава 10. Получение водорода биохимическим разложением воды.

Большая часть живых организмов дышит, т.е. потребляет кислород и выделяет углекислый газ для того, чтобы питать процессы анаболизма в организме. В наибольшей степени это справедливо для растений. В растениях протекает и другой процесс, обратный дыханию – фотосинтез, в котором из атмосферного воздуха поглощается углекислый газ, а выделяется кислород. Таким образом, на свету растения являются разветвленной сетью по производству кислорода, а в темноте – сетью по его потреблению. Некоторые виды растений могут производить кислород, извлекая его из воды, в результате чего высвобождается водород. Например, такой способностью обладают некоторые водоросли. Так как в темноте активность процессов, протекающих в растениях, сильно заторможена, количество выделяемого водорода мало. За высвобождение водорода отвечает фермент гидрогенеза. Активность этого фермента подавляется в присутствии кислорода, поэтому он не работает, когда идет процесс фотосинтеза.

Недостаток серы, наоборот, подавляет процесс фотосинтеза, что позволяет получить водород в больших количествах при воздействии света. Экспериментально продемонстрирована возможность фотобиологического получения водорода с помощью водоросли *Chlamydomonas Reinhardtii*. Этот процесс протекает в две стадии:

- 1) нормальный рост водорослей и формирование запаса соединений углерода;
- 2) удаление серы из системы и из водорослей, которые продолжают оставаться на свету и выделяют водород, расходуя часть запасенного углерода.

После того как на второй стадии израсходована большая часть углерода, процесс повторяется сначала.

Очевидно, что в настоящее время нужны более детальные исследования, целью которых было бы не только улучшение параметров биохимических систем получения водорода, но и

разборка более продуктивных водорослей или штаммов микроорганизмов.

Предварительные оценки показали, что для удовлетворения всех энергетических потребностей города с миллионным населением потребуются акваплантация с водорослями *Chlamydomonas Reinhardtii* площадью 18 км².

Это говорит о том, что никогда человек не создаст технологии эффективнее естественных технологий Природы. Поэтому основная задача человека (инженера XXI века) изучать, моделировать и воспроизводить в промышленных масштабах природные технологии жизнеобеспечения.

Ясно одно – это биотехнологическое (природное) направление производства водорода чрезвычайно перспективно и его реализацию необходимо стимулировать всеми возможными средствами.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что называют процессом дыхания растений?
2. Как соотносятся два процесса: дыхание и фотосинтез?
3. Какую разветвленную сеть представляют собой растения?
4. Дышат ли растения в воде (водоросли)?
5. За что в растении отвечает фермент гидрогеноза?
6. Какой химический элемент подавляет процесс фотосинтеза?
7. Опишите способ фотобиологического получения водорода с помощью водорослей.
8. Какой площади должна быть акваплантация для обеспечения водородом всех энергетических потребностей города с миллионным населением?

Глава 11. Гидроэлектростанции без плотин

Энергия малых рек использовалась человеком ещё в начале нашего тысячелетия. Строилась плотина, тем самым создавался подпор воды, которая падая сверху вращала деревянное колесо. Вращением колеса приводились во вращение жернова мельниц или веревочная система подачи воды из реки на орошаемые поля. Со временем гидроэнергетические установки совершенствовались, деревянные колеса заменили железные турбины и началось строительство гидроэлектростанций на малых реках планеты, которые обеспечивали электроэнергией большие города. Гидроэлектростанции на малых реках стали основой электроэнергетики в первой половине XX века. Так на 1940-1950 гг. (после Великой Отечественной войны) пришелся пик строительства малых ГЭС в СССР, когда ежегодно в эксплуатацию вводилось до 1000 объектов. По разным оценкам к 1955 г на территории Европейской части СССР насчиталось до 5000 МГЭС. А общее количество МГЭС в СССР после 1955 года составляло 6500 единиц.

Мировым лидером в малой гидроэнергетике является Китай, где с 1950 по 1996 г общая мощность малых ГЭС выросла с 5,9 до 19200 МВт. В ближайшем десятилетии в Китае планируется строительство более 40000 малых ГЭС с ежегодным вводом до 1000 МВт мощность. В Индии на конце 1988 г установленная мощность малых ГЭС (единичной мощности до 3 МВт) составляла 173 МВт и в стадии строительства находятся ГЭС общей мощностью до 188 МВт. Определены места строительства 4000 малых электростанций с общей мощностью 8370 МВт. Эффективно развиваются малые ГЭС в европейских странах: Австралии, Финляндии, Норвегии, Швеции.

Сегодня гидроэнергетический потенциал малых рек России используется на 0,5%. Это произошло потому, что сократились малые ГЭС в СССР с 6500 единицу в 50-х годах до 70 единиц в 90-х годах XX в.

В середине 50-х гг. в связи с переходом к строительству крупных гидроэнергетических объектов в СССР (глобальная

ошибка политическая, экологическая, инженерная) и присоединением сельских потребителей к централизованному электроснабжению, это направление энергетики утратило государственную поддержку, что привело к полному разрушению и упадку созданной прежде инфраструктуры. Прекратилось проектирование, строительство, изготовление оборудования и запасных частей для малой гидроэнергетики. К моменту распада СССР в 1990 г. действовало только 55 МГЭС.

В середине 50-х гг в СССР требовалось все больше электроэнергии и возникали проекты поворота северных рек на юг и строительства на них больших электростанций. К счастью эти проекты не воплотились в жизнь. Но зато всю нагрузку по строительству больших ГЭС перенесли на две крупнейшие реки России: Волгу и Каму. На Волге построили каскад из 9 ГЭС, на Каме – из трех ГЭС, создав искусственные тромбы в “кровеносной” системе Планеты (огромные плотины) с затоплением гигантских территорий России (самых плодородных), с созданием искусственных морей с гигантским зеркалом воды, глобальным нарушением экологии нескольких российских регионов.

Но это никого не остановило. Ведь согласно материалистическому мировоззрению человек – “царь” Природы и его “задача”, в длительной борьбе с Природой, завоевывать её пространство. Результат завоеваний середины XX века мы пожинаем сейчас (в начале XXI века) – глобальный экологический кризис, большую долю которого сформулировала большая гидроэнергетика России.

Если бы эти средства и труд были вложены в строительство и развитие малых ГЭС, то Россия сейчас имела бы мощную децентрализованную энергосистему – мобильную, независимую, надежную, безопасную во всех катаклизмах, дешевую в строительстве и в эксплуатации, с самой дешевой электроэнергией.

Но это не случилось и ошибочность этого направления в гидроэнергетике осознана только сейчас.

По мнению экспертов в ближайшем будущем рост выработки электростанций будет происходить в регионах с

децентрализованным электроснабжением за счет восстановления разрушенных и строительства новых электростанций на малых реках России.

Но основой электроэнергетики и экологический эффект дадут, разработанные в последнее время погружные свободно-проточные гидротурбины, использующие для получения мощности скорость естественного течения воды в водотоках и не требующие возведения плотин. Для размещения погружных гидротурбин (рис.11.1., рис.11.2) можно использовать любые водотоки, имеющие достаточную ширину, глубину и скорость течения порядка 3 м/сек.

Создание погружных турбин и возможность их каскадной установки (рис. 11.3) дают принципиальную возможность установки больших ГЭС и ликвидации их водохранилищ, возвращая реке её естественное русло с естественным течением реки. В естественное русло можно устанавливать любое количество погружных гидротурбин, создавая каскад, который по мощности может не только заменить бывшую большую ГЭС, но и превышать её в разы. Погружные гидротурбины можно устанавливать в любом месте реки с любой протяженностью их каскада, не нарушая экологии реки, её поймы и прилегающей к ней территории.

Созданы переносные погружные гидротурбины (рис. 11.4, рис. 11.5), которые найдут широкое применение при необходимости в быстром автономном получении электроэнергии с минимальными временными и финансовыми затратами.

Объединением “ИНСЭТ” (г. Санкт-Петербург) созданы МикроГЭС (мощностью до 100 кВт), которые можно устанавливать практически в любой водоток с установкой на берегу. МикроГЭС состоит из энергоблока, водозаборного устройства (рукава) и устройства автоматического регулирования (рис. 11.5).

МикроГЭС отличаются простотой, надежностью, экологичностью, компактностью, быстрой окупаемостью. В первую очередь они будут востребованы как источники электроэнергии для деревень, хуторов, фермерских хозяйств, мельниц,

автономных удаленных производств, дачных поселков, где нет поблизости линий электропередач (а строить такие линии сейчас дольше и дороже, чем приобрести МикроГЭС).

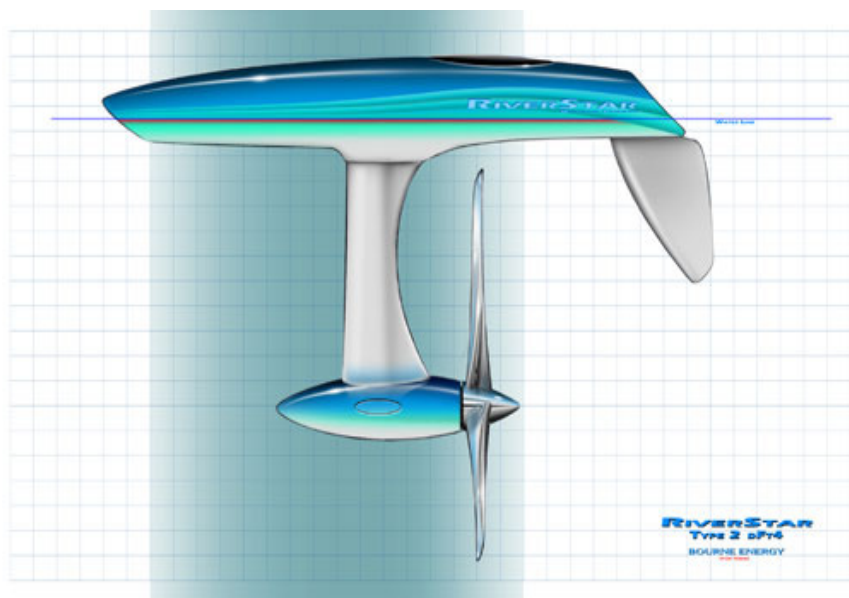


Рис. 11.1. Погружная гидроэлектротурбина.

River Star — это мобильная ГЭС, которую можно устанавливать на реках с малой глубиной. Одна секция системы вырабатывает около 50 кВт. Установки можно интегрировать в каскады. Эффективность системы повышается в зависимости от количества секций и скорости потока. Создатели позиционируют свой продукт как решение для небольших поселений и туристических центров. ГЭС можно маскировать так, что отдыхающие не догадаются о том, что рядом с ними электростанция. На плавучую часть установок одевается специальный «колпак» маскирующий турбину.

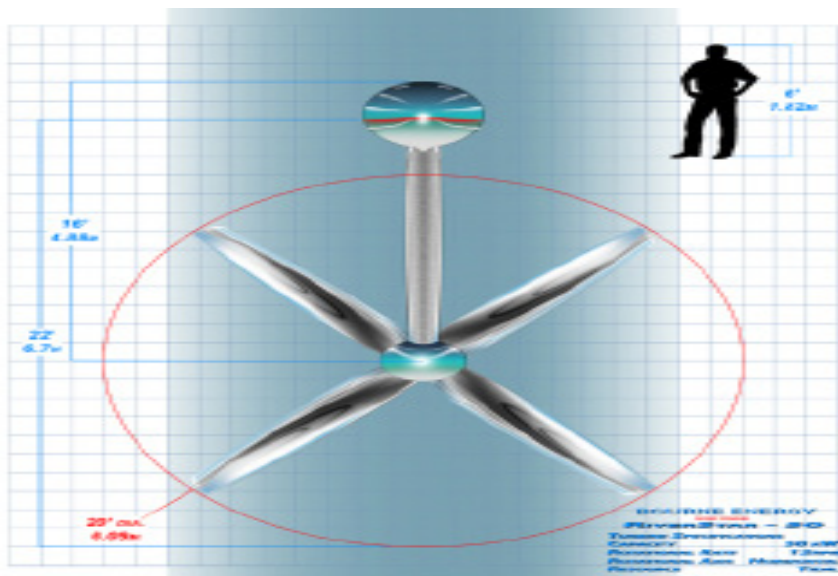
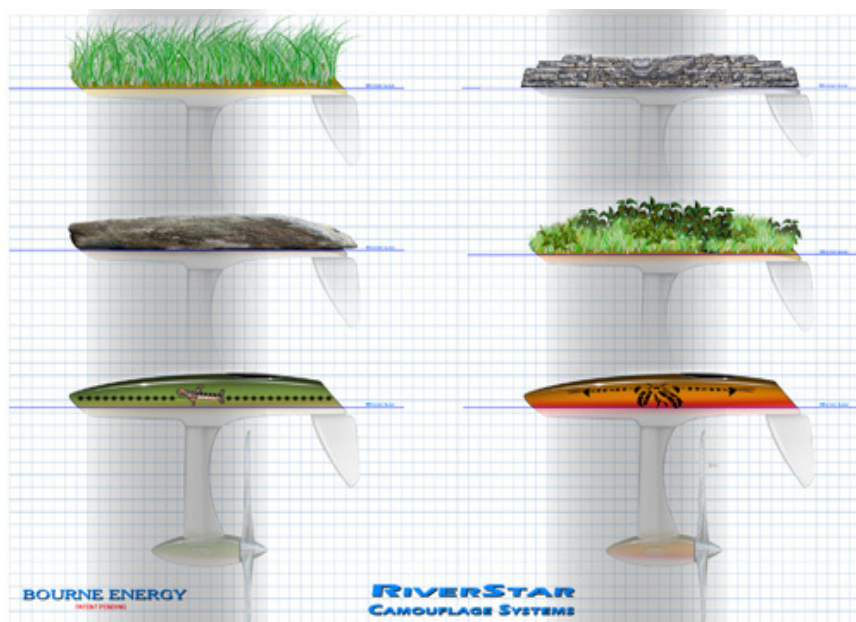


Рис. 11.2. Погружная гидротурбина (вид спереди) и ее масштабные параметры



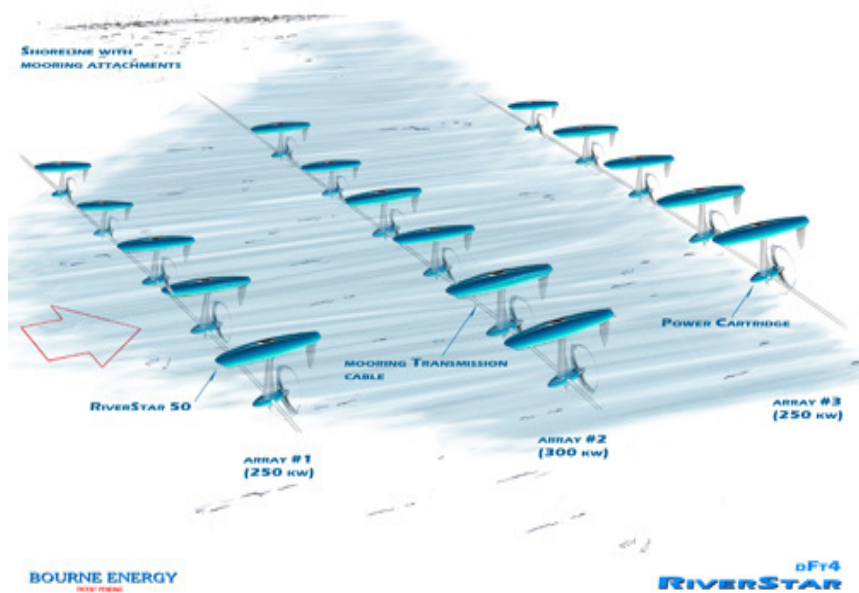
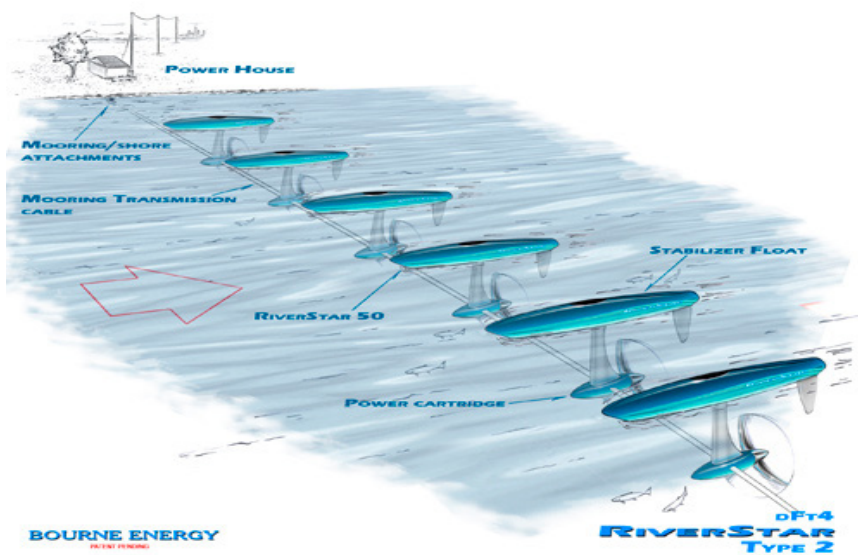


Рис. 11.3. Каскад погружных гидроэлектротурбин.

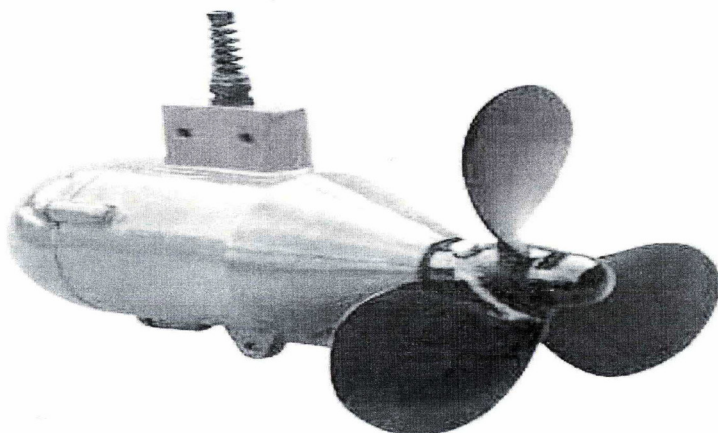


Рис. 11.4. Переносные погружные микроГЭС.

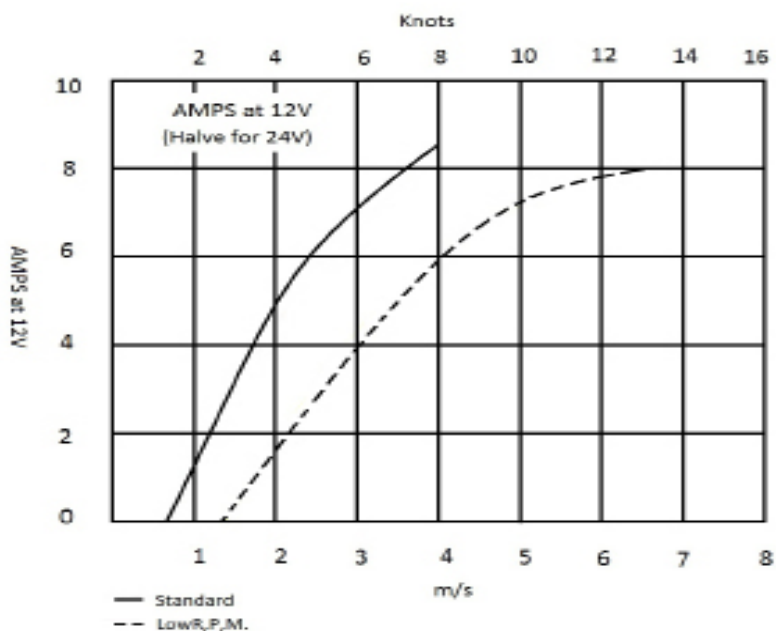


Рис. 11.5. Технические характеристики переносных погружных микроГЭС.

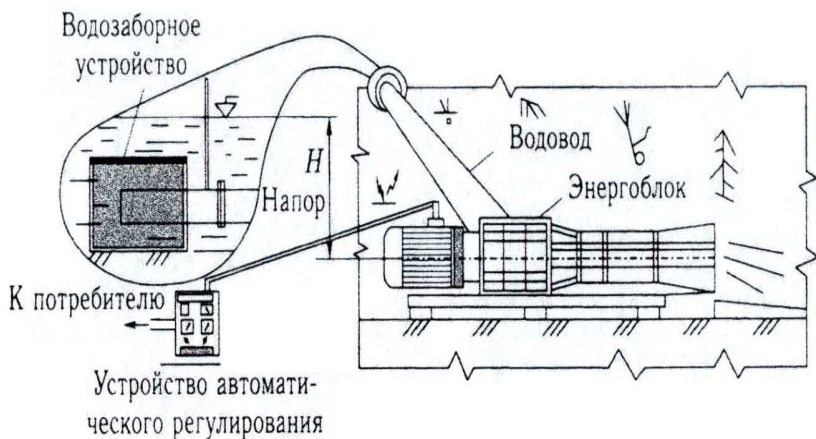


Рис. 11.6. Микро - ГЭС.

Большое число микроГЭС может быть построено на гидроузлах водоснабжения и ирригации. В системах водоснабжения на участках трассы с большой разницей отметок поверхности. Вместо различного рода гасителей энергии (напора) могут быть построены микроГЭС. При расходах воды в пределах от 5 до 100 л/с. их мощность может достигь от 20 до 200 кВт. При недостаточной глубине водотока интересные конструктивные решения реализуют некоторые зарубежные фирмы. На рис. 11.7. представлена конструкция надувной водосливной плотины, предлагаемой фирмой «Dyrhoff». Вместо традиционных для плотин материалов: бетона, стали и дерева фирма использует «пузырь» из армированной резины. Для создания напора плотину надувают воздухом или наполняют водой с давлением, на 20-30% большим напора (h).

На бетонном основании «пузырь» удерживается с помощью анкеров. Компрессор или насос связаны с внутренней полостью плотины через трубопровод, расположенный в бетонном основании. Удобство такой конструкции заключается в том, что, при необходимости можно быстро и легко выпустить воздух из полости и «пузырь» опустится на дно, позволяя воде

беспрепятственно проходить вниз по течению. Это свойство плотины наилучшим образом может быть использовано на реках и больших ручьях быстро нарастающими многоводными паводками для транзитного пропуска воды. Возможно применение этих плотин при сезонном пропуске рыбы и льда. Достоинствами этой плотины по данным фирмы - производителя является низкий уровень стоимости, простота работы и минимальные эксплуатационные расходы.

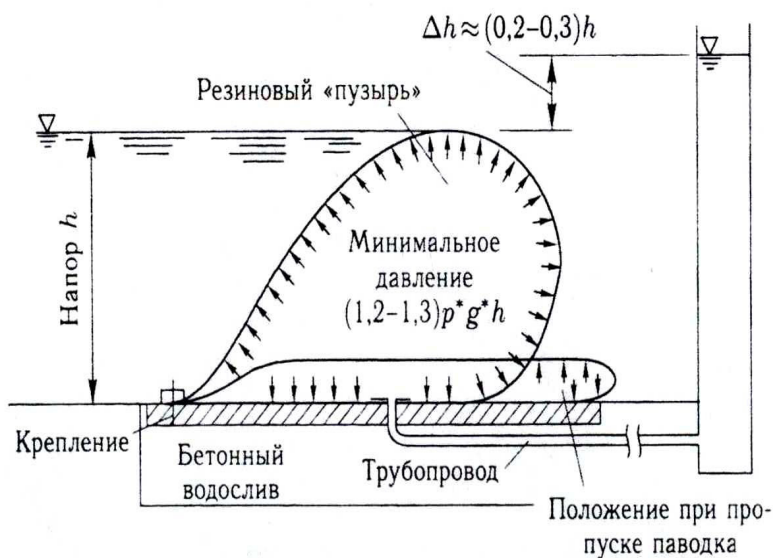


Рис. 11.7. Надувная водосливная плотина.

Сегодня малые ГЭС и микроГЭС уже получили распространение во многих странах мира. Они характеризуются большой часовой наработкой, значительными конструктивными запасами и высокой надежностью, не требуют постоянного присутствия обслуживающего персонала. Экологические последствия от малых ГЭС минимальные, от микроГЭС их нет совсем. Малая гидроэнергетика не зависит от погодных условий и способна обеспечить устойчивую подачу электроэнергии

потребителю. МГЭС вырабатывает самую дешевую электроэнергию и срок их окупаемости 1-3 года.

Но самый большой плюс от МГЭС – это независимость её пользователя. Регион, использующий МГЭС, приобретает независимость и повышенную энергетическую безопасность. Предприятия, использующие МГЭС, приобретают независимость, человек использующий МГЭС, приобретает независимость и уходит от эксплуатации олигархами (владельцами энергоресурса).

Если нетрадиционные возобновляемые источники энергии, рассмотренные нами в предыдущих главах требуют либо создания, либо изготовления, либо строительства, то микроГЭС не требуют ничего: есть водоток и есть готовая микроГЭС. Её нужно купить, установить и запустить в работу.

Поэтому с микроГЭС и миниГЭС необходимо начинать энергетическую перестройку России. Следующий этап – восстановление разрушенных малых электростанций. Следующий этап – строительство новых МГЭС. Далее ветровые электростанции и параллельно с ними геотермальные энергоустановки. После этого солнечно-водородная энергетика. А топливные элементы и тепловые насосы необходимо развивать независимо ни от чего прямо с завтрашнего дня.

Такая последовательно-параллельная схема работы даст возможность вывести из эксплуатации и остановить ГЭС, крупные ТЭЦ, АЭС, ДЭС, что является основной задачей России на два следующих десятилетия XXI века.

Заключение

В своей “хозяйственной” деятельности человек ведет непримиримую борьбу с Природой. В течение XX века эта борьба сконцентрировалась вокруг энергетических ресурсов Планеты, которые нужны человечеству как воздух. Это естественно потому, что энергетика – это основа существования человеческой цивилизации.

Если бы человечество выбрало биотехнический (естественный) способ существования, в котором человек – Единица Природы, с использованием этих Законов Природы в устройстве человеческого общества, в создании техники и технологий жизнеобеспечения, в создании энергетической базы человечества основанной на энергетике нашей Планеты (энергии ветра, энергии солнца, энергии воды, энергии внутреннего тепла Земли, неисчерпаемой энергии околоземного Космоса, за счет которой живет все живое на Земле и существует вся материя Планеты), то человечество было бы другим. Если бы человечество выбрало биотехнический (естественный) путь развития, то в начало XXI века оно вошло бы в глубоком процветании, с высочайшим уровнем развития техники и технологий, с полным согласием с Природой.

Но, человечество выбрало техногенный (неестественный) путь развития – путь антагонизма и непримиримой борьбы с Природой. Поэтому в XXI век человечество вошло с глобальным кризисом, который включает в себя весь возможный набор кризисов: духовно-нравственный, политический, демографический, экономический, социальный, научный, энергетический.

Очевидно, что материалистический образ мышления современного человечества мог привести его только к искусственному–технократическому пути развития. Материалистическая наука человечества Земли не устремила свой взор вверх, и не направила свой поиск энергетической основы человечества в Космос – в океан бесконечной, безопасной и бесплатной энергии. Она устремила свой взор вниз – в глубины Планеты, в ее энергетические залежи – уголь, нефть, газ. Она создала варварские

технологии их добычи, задача которых была в удовлетворении бесконечно растущих энергетических потребностей человечества, в извлечении из энергетических ресурсов Планеты бесконечно растущей сверх прибыли. При этом бесконечно увеличивая массовость и масштабность разрушений Природы.

Материалистический образ мышления человечества основывается на том, что энергетические залежи Планеты бесконечны и варварская стратегия отношений с Природой вполне обоснованна.

Но в середине XX века стало понятно, что ископаемые энергетические ресурсы Планеты быстро истощаются и наступит момент, когда они иссякнут. Это понимание вызвало шок в правящих и деловых кругах развитых стран. Постепенно отходя от шока, правительства этих стран начали политику борьбы за энергетические ресурсы Планеты, так как энергетические потребности их стран растут огромными темпами.

К жестокой борьбе с Природой за изъятие из Природы её энергетических ресурсов человечество добавило жесточайшую борьбу между государствами за владение (перераспределение) этими ресурсами.

Двадцатый век ознаменовался 12-кратным ростом объемов извлечений энергоресурсов человеком из природной среды. За XX век прошли три волны количественного роста объемов мировой энергетики с последовательной заменой доминирования дров углем, уступившим затем место нефти, которая теперь более интенсивно замещается природным газом.

Вместе с тем развитие мировой энергетики идет со спадами, прямо связанными с войнами, революциями, вооруженными конфликтами великими депрессиями. Энергетика стала основой геополитики, она все сильнее влияет на мировую экономику и на расстановку сил в мире: в 70-х годах нефтяной кризис сломал финансовую систему Мира; в конце 80-х годов политически мотивированное снижение цен на нефть способствовало крушению лагеря социализма; в 2006-2008 годах дерегулированный рынок дал спекулятивный взлет цен на нефть, что стало основной

причиной современного глобального кризиса.

Читатель, если в какой-то точке нашей Планеты назревает вооруженный конфликт и это преподносится всему миру как “народное возмущение” действиями правительства в этом регионе – не верьте – смотрите в корень геополитического процесса - и Вы увидите там энергетику – истинную причину вооруженного конфликта или свержения власти в регионе. Этот вооруженный конфликт раздувает та сторона у которой недостаток своих ресурсов и которая хочет захватить чужие энергетические ресурсы под “красивой миной” народного гнева.

Итак, энергетика – основа геополитики причина передела мира, причина мировых вооруженных конфликтов, цветных революций и нецветной (бело-черной) эксплуатации одного народа (государства) другим народом (государством).

Энергетика – основная причина расслоения общества и корень жесточайшей борьбы людей между собой – эксплуатации одних людей другими. Люди, захватившие энергетические ресурсы (магнаты) или укравшие энергетические ресурсы у народа (олигархи) нещадно эксплуатируют людей на их энергетической зависимости. Нет ничего хуже в жизни человека как “сесть на иглу” – это катастрофа для человека, для его семьи, для его дела.

Каждый из нас сегодня посажен не на одну, а на три иглы: электрокабель, газовую трубу и бензиновый шланг на автозаправке. Это три “иглы” жесточайшей и циничной эксплуатации. Но эта эксплуатация заgrimирована под “заботу о народе” и в дымовой завесе политического пиара простому человеку действительно не распознать этого Зла. А оно вонзает свои “иглы” в каждого человека все глубже и глубже.

И кажется, что впереди безысходность, невозможность каких-то изменений нет альтернативы. И тут же нам “подают” альтернативу – глобализацию. Читатель как Вы думаете почему сейчас столько шума, звона и визга о необходимости глобализации человечества? Да только потому что сильные мира сего боятся, что люди начнут срываться с их “иглы”. А глобализация

обеспечит им возможность удержания людей на «игле».

Из этого безвыходного положения есть выход – нетрадиционные возобновляемые источники энергии (НВИЭ). Это путь к энергетической свободе человека, путь к новому экологическо-энергетическому человечеству.

Ничто не удивляет в этой ситуации. Ни политики – их задача понятна - используя энергетический дефицит, управлять миром. Ни бизнес – его задача понятна - используя энергетический дефицит и захватив энергетический ресурс, срывать сверхприбыль. Удивляет современная наука – она сегодня выполняет роль “дамы по вызову”. Наука сегодня занимается тем, за что хорошо платят. Наука сегодня не занимается изучением Природы. Природа всегда давала возможность научного предвидения, открытия фундаментальных законов, Законов Космического энергетического взаимодействия, принципов использования энергии околоземного Пространства – неисчерпаемой, безопасной и бесплатной.

Если бы современная наука выполняла своё предназначение, то с середины XX века у неё была такая возможность – заняться использованием энергии околоземного Пространства. Так как в 20–50 гг XX века сделал свое гениальное открытие Виктор Шаубергер по использованию свободной энергии окружающего Пространства. Он не только сделал открытие, но и создал десятки работающих турбин, которые демонстрировал на самых высших уровнях: в Министерствах промышленности Австрии и Германии, в научно-исследовательских институтах и лабораториях ряда стран.

Принципиальная позиция Шаубергера: “В здоровом механизме нет никаких прямых линий и правильных окружностей”. Этим он хотел сказать, что принципы и формы его изобретений основаны на принципах и формах Природы. Он отказался от мертвых линий и форм. Его механизмы и турбины имеют спиралевидные формы, реализующие вихревые материальные и энергетические потоки. Вихревые потоки Шаубергера формируют “захват” свободной энергии окружающего пространства и обеспечивают

усиление и самоподдержку вихревого движения в целом.

С молоком матери мы впитали понятие электрического тока как потока электронов в проводнике от источника к нагрузке (потребителю). Электроны при движении формируют бегущие электромагнитные волны, в проводнике и электромагнитное поле вокруг проводника. Для обеспечения непрерывности этого потока (электрического тока) электрическая цепь должна быть замкнутой, т.е. двухпроводной. На этой концепции электрического тока современная цивилизация стоит со времен Фарадея до сегодняшнего дня.

В итоге незыблемость этой концепции затормозила как развитие электротехники так и в целом развитие энергетики нашей цивилизации.

Сто лет назад Никола Тесла опроверг эту концепцию, создав установку однопроводной передачи электрического тока и показав, что волновой электромагнитный резонанс лежит в основе электрического тока и пространственной передачи электроэнергии. Тесла показал, что ток изменяется по длине линии и в разных частях однопроводной линии ток может иметь любые локальные значения, в том числе и равные нулю. Более того в разных участках разомкнутой однопроводной цепи ток может быть направлен в противоположные стороны. После этого Тесла создал систему беспроводной передачи электроэнергии на большие расстояния.

Это был шок для всего научного электротехнического общества того времени. Естественно, что вся армия электротехников обрушилась на Тесла, что этого не может быть, потому что быть этого не может, и что он (Тесла) подрывает основы мировой электротехнической науки. После этих выпадов Тесла вынужден был организовать и провести показательный публичный эксперимент:

- он пригласил 200 человек,
- они взяли за руки и образовали круг диаметром 100 метров,
- в соединение рук людей Тесла вложил по одной

электрической лампочке (200 лампочек),

- систему беспроводной передачи электроэнергии Тесла поместил в центре созданного людьми круга,

- когда он запустил систему - все лампочки в руках людей загорелись.

Эксперимент закончился полным восторгом его участников и полным шоком многочисленной группы ученых и инженеров, присутствующих на эксперименте.

Таким образом Тесла показал, что электрический ток - это не поток электронов в проводнике и что наука в полном неведении о природе электричества и его колоссальных возможностях в руках человека.

В своей знаменитой лекции в Колумбийском университете 20 мая 1891 года Тесла сказал: «Природа хранит неисчерпаемые запасы энергии. Вечный приемник и передатчик этой бесконечной энергии -эфир. Признание существования эфира и функций, которые он выполняет, - один из самых выдающихся результатов современной научной мысли...признание существования среды, пронизывающей всю материю освободило умы мыслителей от вечных сомнений и открыло новые горизонты непредвиденных возможностей».

Казалось бы после этого наука должна была поменять приоритеты, перегруппироваться и направить все усилия на постижение разработок и действующих устройств Теслы. Но все произошло с точностью до наоборот. Научное и инженерное сообщества США сделали вид, что ничего не произошло, и целенаправленно предали общественному забвению и эпохальный публичный эксперимент Теслы и его гениальные разработки.

Здравомыслящий человек задаст вопрос: «Почему?». Да только потому, что уже с того времени (с начала XX века) наука стала тем, за что хорошо платят. А платили тогда хорошо за разработки электротехники, в которой электрический ток был «потокком электронов в проводнике». Это делалось потому, что в США начался электротехнический бум, приносящий огромные деньги, поэтому никто не хотел менять парадигму

электрического тока.

Тесла и не настаивал на внедрение своих разработок - он считал, что человечеству того времени эти разработки давать нельзя - оно не готово. Поэтому он был замкнут, одинок и у него не было учеников. Он не мог кому-либо передать свои разработки. В одной из своих лекций Тесла с великим сожалением сказал: «Мой проект сдерживался законами Природы, Мир не был готов к нему. Он слишком обгонял время. Но те же самые законы восторжествуют в конце этого века и осуществят его с великим триумфом».

Наступил XXI век - время триумфа гения Теслы и его гениального проекта.

В 1985 году, ничего не зная о работах Теслы и Шаубергера, автор этого учебного пособия создал «Вихревую резонансную модель Вселенной», которая впервые была опубликована в 1995 году.

Модель показала, что современная цивилизация базируется на четырех концепциях, которые затормозили ее развитие:

- 1) Законе всемирного тяготения;
- 2) Евклидовой геометрии;
- 3) Электрическом токе как потоке электронов в проводнике;
- 4) Человеке как высшем существе во Вселенной.

Модель показала, что во Вселенной действует не одна сила тяготения, возведенная в закон, а две противоположные силы - тяготение и отталкивание, которые находятся в постоянном (бесконечном) взаимодействии. Это взаимодействие формирует вращение (вихревое пространственное движение) являющееся основой структуры Вселенной, пространственных вибраций и резонанса. Вихревое движение основа самогенерации и возбуждения незатухающих процессов (в том числе электромагнитных) во Вселенной.

«Вихревая резонансная модель Вселенной» показала, что во Вселенной нет прямых линий, нет параллельных прямых, нет изолированных точек, нет треугольников, прямоугольников, параллелепипедов, цилиндров и т.д.

Т.е. нет всего того на чем бази руется наша наука, что лежит в основе инженерного мышления нашей цивилизации. Во Вселенной нет Евклидовой геометрии, на основе которой человек построил окружающий его мир (неестественный мир), вошедший в антирезонанс с естественным Миром - с Природой. В этом кроется корневая причина глобального экологического кризиса нашей Планеты.

«Вихревая резонансная модель Вселенной» показала, что электрический ток - это результат резонанса вибраций вихревого электромагнитного потока в проводнике (волноводе) и вибраций окружающего его пространства. Резонансный электромагнитный вихрь проводника захватывает электромагнитную составляющую из спектра энергий окружающего пространства, что обеспечивает самогенерацию вихревого процесса. Т.е. концепция модели полностью совпала с концепцией электрического тока и пространственной передачи электроэнергии Теслы.

Более того концепция модели Вселенной совпала с концепцией Шаубергера - вихревых самогенерирующих процессов, лежащей в основе его имплозионных аппаратов и турбин, разработанных Шаубергером, изготовленных им и успешно им демонстрируемых. Но эти гениальные разработки Шаубергера так же остались в забвении как и разработки Теслы.

С 2000 года автор занимается исследованием разработок Теслы и Шаубергера, их осмыслением и реализацией. В 2012 году создана лабораторная установка, которая дала возможность повторить эпохальный публичный эксперимент Теслы. На основе этой установки создана лабораторная установка резонансной волновой передачи электроэнергии. Лампы (трубки) дневного света загораются бесконтактным способом при их приближении к волноводу. Добавление количества ламп (трубок) в систему вдоль волновода не увеличивает потери в системе.

Т.е. мы вышли на финишную прямую достижения мечты человечества - пространственной передачи электроэнергии без потерь. Многие исследователи пытались воспроизвести разработки Теслы, но безуспешно.

Нам повезло больше - мы воспроизвели и устройство и результаты Теслы. На это ушло 12 лет исследований и разработок.

В настоящее время автор является активным пропагандистом научного направления, созданного Николой Тесла:

«Исследование и разработка пространственного вихревого резонансного генератора электроэнергии».

Это направление исследования обосновывается двумя принципиальными позициями:

1. Принципиальной позицией Теслы: «У нас вообще не будет необходимости передавать энергию. Сменится немного поколение людей, когда наши механизмы будут приводится в движение энергией, получаемой в любой точке Вселенной... Энергия пронизывает все пространство».

2. Принципиальной позицией автора: «Вихревой резонансной моделью Вселенной».

Модель показала, что околоземное пространство пронизывается потоком стоячих (продольных) электромагнитных волн. Их преобразование в бегущие (поперечные) электромагнитные волны дает возможность получения неограниченного количества электроэнергии.

Великий Тесла осуществил это преобразование и в качестве его демонстрации создал автомобильный двигатель, который развивал скорость автомобиля до 150 км/час. Двигатель работал в течение одного месяца, после чего Тесла уничтожил его.

Это направление работ дает человечеству возможность доступа к Океану Космической Энергии. Это ли не мечта современного человечества? И она осуществима!!!

Но, плоско-параллельное мышление ученых и чиновников от промышленности отвергло гениальные разработки Теслы, не восприняло гения Шаубергера, отвергло его гениальные импlosionные машины, которые уже тогда использовали энергию окружающего пространства. Потрясает тот факт, что блеф теории относительности, который на 100 лет затормозил развитие мировой науки, был принят на “ура” - все визжали от восторга. И за этот блеф Эйнштейн получил нобелевскую премию.

А Виктор Шаубергер – гениальный ученый – эксперт Природы, который не занимался теоретическим блефом, а на основе своих открытий создавал турбины, работающие на свободной энергии Пространства, которые сегодня потрясают глубиной интеллекта и гениальности этого человека – умер в неизвестности и нищете, так же как был всеми брошен и предан забвению Великий Тесла. Разве этот факт не характеризует одеревенелость современной науки? Но гениальное наследие Николы Теслы и Виктора Шаубергера осталось нам – оно ждет молодые умы, жадные до знаний, способные воспринять философию Шаубергера и Теслы, способные изучать их турбины и генераторы и имеющие желание претворять их в жизнь. Открытия Шаубергера и Теслы ждут Вас – будущие инженеры XXI века. Воплотив эти открытия в жизнь, Вы дадите каждому человеку на Земле столько энергии, сколько ему необходимо для жизни. Человек обретет энергетическую независимость, которая выведет его из под эксплуатации нефтяными магнатами и энергетическими олигархами.

Воплотив в жизнь гениальные творения Теслы и Шаубергера, Вы снимете геополитическую напряженность в Мире и нейтрализуете энергетику как причину военных конфликтов. Воевать будет не за что.

Каждый человек должен получать энергию так как её получает каждое дерево в лесу. Не может принадлежать магнату (олигарху) солнечный свет, воздух, вода, внутреннее тепло Земли, энергия околоземного Пространства – это все принадлежит Природе, а значит принадлежит каждому из нас, как Единице Природы.

Восточная мудрость гласит: “Когда ученик готов – приходит Учитель”. Если Ваше существо внутренне готово заниматься созданием принципиально новой энергетики Планеты, то я готов быть Вашим Учителем по праву единомышленника и последователя Виктора Шаубергера и Николы Теслы.

Желаю творческих успехов и личного счастья тем кто выберет для своей инженерной деятельности это планетарное направление энергетики – направление указанное Богом!!!

Список использованной литературы

1. Никола Тесла. Лекции. Самара: Изд. дом «Агни», 2009. 310 с.
2. Шаубергер В. Энергия воды. Москва. Изд-во Эксмо, Яуза. 2008. 318с.
3. Плыкин В.Д. В начале было слово или след на воде. Ижевск: Изд-во “Удмуртский университет”, 1995. 50с.
4. Плыкин В.Д. Резонансная вихревая модель Вселенной. <http://via-midgard.info/news/video/1523-plykin-vd-novaya-model-vselennoj.html> Плыкин. 2012.
5. Плыкин В.Д. Возобновляемые источники энергии: учеб.-метод. пособие. Ижевск: Изд-во “Удмуртский университет”, 2012. 60с.
6. А да Роза. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. М.: Изд. дом Интеллект, 2010. 703с.
7. Денк С.О. Возобновляемые источники энергии. На берегу энергетического океана. Пермь: Изд-во Пермского ГУ, 2008. 286с.
8. Алхасов А.Б. Возобновляемая энергетика. М.: ФизматЛит, 2010. 255с.
9. Безруков П.П., Стребков Д.С. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2005. 264с.
10. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. М.: Радио Софт, 2008. 234с.
11. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / Под общ.ред. П.П. Безруких. СПб.: Наука, 2002. 314с.
12. Шпильрайн Э.Э. Проблемы и перспективы возобновляемой энергии в России // Перспективы энергетике. 2003. Т.7. С 393-403.
13. Гриббс У. Энергетика будущего // В мире науки. 2007. №1. С. 76-85.

Учебное издание

Плыкин Виктор Дмитриевич

Нетрадиционные возобновляемые источники энергии

Учебное пособие

Авторская редакция

Подписано в печать 00.00.13. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$

Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,00

Тираж 30 экз. Заказ №

Издательство «Удмуртский университет»
426034, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1, корп. 4.