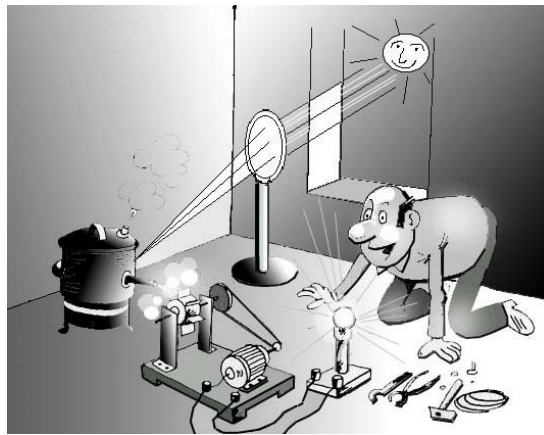


**В.И. Ляшков, С.Н. Кузьмин**

**НЕТРАДИЦИОННЫЕ  
И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ  
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ**

Министерство образования Российской Федерации  
Тамбовский государственный технический университет

**В.И. ЛЯШКОВ, С.Н. КУЗЬМИН**

**НЕТРАДИЦИОННЫЕ**

**И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ**

**ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

Учебное пособие  
для студентов теплоэнергетических специальностей вузов

Место для грифа УМО

Тамбов • Издательство ТГТУ • 2003

УДК 620.97(075.8)  
ББК 3252я73  
Л99

Рецензенты:  
Кафедра теплотехники  
Московского государственного агроинженерного университета,  
заведующий кафедрой, заместитель председателя Научно-методического совета по теплотехнике при  
Министерстве образования РФ,  
заслуженный деятель науки и техники РФ,  
доктор технических наук, профессор  
*С.П. Рудобаишта*

Доктор технических наук, профессор  
Московского энергетического института  
*О.Л. Данилов*

**Ляшков В.И., Кузьмин С.Н.**

Л99

Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. – 96 с.

ISBN 5-8265-0219-3

В соответствии с государственным образовательным стандартом для направления 650800 «Теплоэнергетика» приведены сведения о традиционных и нетрадиционных источниках энергии, запасах и ресурсах источников энергии, динамике потребления энергоресурсов и развития энергетического хозяйства. Отражены экологические проблемы энергетики. Рассмотрены место и перспективы нетрадиционных источников в удовлетворении энергетических потребностей человека: энергия Солнца, ветроэнергетические установки, геотермальные энергетические установки, энергетические ресурсы океана, вторичные энергоресурсы промышленных производств, отходы производства и сельскохозяйственные отходы в качестве источников для получения электрической и тепловой энергии. Представлены отдельные направления энергетики будущего, которые сегодня находятся еще на стадии научных или опытно-конструкторских проработок.

Учебное пособие предназначено для студентов 3, 4 курсов энергетических специальностей.

УДК 620.97(075.8)

ББК 3252я73

**ISBN 5-8265-0219-3**

© Тамбовский государственный  
технический университет  
(ТГТУ),  
2003

© Ляшков В.И., Кузьмин С.Н.,  
2003

Учебное издание

**ЛЯШКОВ Василий Игнатьевич,  
КУЗЬМИН Сергей Николаевич**

**НЕТРАДИЦИОННЫЕ  
И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ  
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

Учебное пособие

Редактор Т.М. Глинкина

Компьютерное макетирование И.В. Евсеевой

Подписано к печати .2003

Гарнитура Times New Roman. Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Объем: 5,58 усл. печ. л.; 5,4 уч.-изд. л.

Тираж 200 экз. С.

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

# 1 ВВЕДЕНИЕ

Природу обмануть нельзя, но договориться с ней можно.

*А. Эйнштейн*

уровень материальной, а в итоге и духовной культуры людей находится в прямой зависимости от количества энергии, имеющейся в их распоряжении и их умения эффективно и с пользой для себя использовать эту энергию. Потребление энергии является необходимым условием осуществления любого действия, любого процесса, любого свершения.

Неумолимые законы природы утверждают (и это мы поняли, изучив основы термодинамики), что получить энергию, удобную для использования можно только за счет ее преобразования из других форм. Вечные двигатели, к сожалению, невозможны, а потребности в энергии все увеличиваются. Потребление энергии удваивается каждые 30 лет и сегодня составляет около миллиарда тонн условного топлива в год (рис. 1.1). Вполне реален прогноз, по которому в 2003 г. в мире будет произведено  $35 \cdot 10^{15}$  киловатт-часов электроэнергии, и все равно ее будет недостаточно.

Структура мирового энергохозяйства на сегодня сложилась так, что 80 % потребляемой электроэнергии получается при сжигании топлива на электростанциях, где химическая энергия топлива преобразуется сначала в тепло, теплота – в работу, а работа – в электричество. Ощутимый процент дает и гидроэнергетика (около 15 %), остальное покрывается другими источниками, в основном атомными электростанциями.

Потребности человека растут, людей становится все больше и это вызывает гигантские объемы производства энергии и темпы роста ее потребления. Сегодня традиционные источники энергии (различные топлива, гидроресурсы) и технологии их использования уже не способны обеспечивать требуемый уровень энерговооруженности общества, потому что это невозобновляемые источники. И хотя разведанные запасы природных топлив очень велики, проблема истощения природных кладовых при нынешних и прогнозируемых темпах их разработки переходит в реальную и недалекую перспективу. Уже сегодня ряд месторождений из-за истощения оказывается непригодным для промышленной разработки, и за нефтью и газом, например, приходится идти на труднодоступные, отдаленные территории, на океанские шельфы и т.п. Серьезные прогнозисты доказывают, что при сохранении нынешних объемов и темпов роста энергопотребления в 3 ... 5 % (а они без сомнения будут еще выше) запасы органических топлив полностью иссякнут через 70 – 150 лет.

Другим фактором, ограничивающим значительное увеличение объемов выработки энергии за счет сжигания топлив, является все возрастающее загрязнение окружающей среды отходами энергетического производства. Эти отходы значительны по массе и содержат большое количество различных вредных компонентов. Так, при производстве  $10^6$  кВт·ч электроэнергии на современной электростанции, работающей на твердом топливе, в окружающую среду сбрасываются 14 000 кг шлака, 80 000 кг золы, 1 000 000 кг диоксида углерода, 14 000 кг диоксида серы, 4 000 кг окислов азота, 100 000 кг водяных паров, а также соединения фтора, мышьяка, ванадия и других элементов. А ведь количество вырабатываемой в год электроэнергии исчисляется сотнями и тысячами миллиардов киловатт-часов! Вот откуда кислотные дожди, отравления сельхозугодий и водоемов и тому подобные явления. Причем природа уже не в состоянии естественными физико-химическими и микробиологическими способами переработать эти загрязнения и самовосстановиться.

В ядерной энергетике возникают экологические проблемы другого рода. Они связаны с необходимостью исключить попадание ядерного горючего в окружающую среду и надежным захоронением ядерных отходов, что при современном уровне развития техники и технологий связано с большими трудностями.

Не менее вредным является и тепловое загрязнение окружающей среды, способное привести к глобальному потеплению климата Земли, таянию ледников и повышению уровня мирового океана.

Стремление решить эти и другие проблемы наблюдается практически с самого начала большой энергетике. Оно реализуется как в поисках других первичных энергетических источников (электрохимические и термоядерные преобразователи), так и в разработке новых способов преобразования энергии первичных источников в электрическую, например, в термоэлектрических или термоэмиссионных устройствах, в МГД-генераторах.

В свете изложенного выше все более актуальным становится широкое практическое использование так называемых нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, которые ко всему прочему являются еще и экологически чистыми, не загрязняющими окружающую среду. К таким источникам относятся солнечная энергия, энергия ветра, энергия морских волн и приливов, энергия биомассы, геотермальная энергия и др. Природа каждого из этих источников энергии неодинакова, различны и способы их применения и использования. Вместе с тем им свойственны и общие черты, и в частности малая плотность потока генерируемой энергии, обуславливающая необходимость ее аккумуляции и резервирования.

И в обозримом будущем основным источником энергии останутся углеводородные топлива и ядерное горючее. Но человечество уже приближается к такому пределу повышения суммарной мощности традиционных энергоустановок, преодоление которого неизбежно повлечет экологическую катастрофу. Поэтому современная «нетрадиционная» энергетика – это тот резерв, который дает надежду и возможность преодолеть многие казалось бы неразрешимые проблемы и обеспечить возрастающие потребности человека в будущем. По мере совершенствования технологий и масштабов практического использования часть «нетрадиционных» энергоустановок перейдет в разряд традиционной «большой» энергетике, другая часть найдет свою нишу в «малой» энергетике для энергообеспечения локальных объектов. Так или иначе – за нетрадиционными источниками энергии большое будущее, и мы должны всемерно способствовать тому, чтобы это будущее скорее становилось настоящим. От этого зависят вопросы жизни и смерти на нашей планете.

Заканчивая это несколько затянувшееся вступление, хочется отметить, что несмотря на всю важность и актуальность поставленной выше проблемы, в стране еще не издано хорошего, фундаментального учебника по названной учебной дисциплине. Поэтому в настоящем пособии, призванном в какой-то мере разрешить ситуацию, в качестве литературных источников использовались в основном материалы из авторитетных справочников [1], [2], учебников по теплотехнике [3], отдельных монографий [4 – 9] и журнальных статей [10], [11].

## 2 Энергия Солнца

### 2.1 Солнечная радиация, особенности ее использования

Знай меру и не испытывай позора.  
*Лао-цзы*

Среди возобновляемых источников энергии солнечная радиация по масштабам ресурсов, экологической чистоте и распространенности наиболее перспективна. Потенциальные возможности энергетике, основанной на использовании непосредственно солнечного излучения, чрезвычайно велики. Если бы удалось использовать только 0,5 % падающего на Землю солнечного излучения, то это покроет мировые потребности в энергии с учетом столетней (а может быть и больше) перспективы. К сожалению, вряд ли эти огромные потенциальные ресурсы удастся использовать в больших масштабах. Препятствием для этого является низкая интенсивность солнечного излучения. Даже в самых благоприятных условиях (южные широты, чистое небо и т.п.) плотность потока солнечного излучения составляет не более 250 Вт/м<sup>2</sup> и чтобы коллекторы солнечного излучения за год собрали столько энергии, сколько необходимо ее для удовлетворения потребностей человечества за то же время, необходимо разместить их на территории площадью 140 000 км<sup>2</sup> (это примерно территория всего Таджикистана!).

Разместить приемники солнечной энергии можно далеко не везде. Для этой цели не подходят моря и океаны (а они занимают почти 80 % поверхности планеты), труднодоступные и неосвоенные районы (тундра, тайга, горы) и местности с небольшим числом солнечных дней в году. Большие затруднения возникают и из-за неравномерности поступления солнечной энергии: ночью она не поступает, достаточно налететь облаку или туче – и мощность уменьшается в десятки раз. В таких условиях нельзя ориентироваться на стабильное производство электроэнергии, приходится разрабатывать такие технологические процессы, которые в наибольшей мере соответствовали бы особенностям и возможностям гелиоагрегатов.

Необходимость использовать коллекторы огромных размеров обуславливает значительные материальные затраты. Солнечная энергетика относится к наиболее материалоемким видам производства

энергии. Согласно расчетам для изготовления коллекторов солнечного поглощения площадью  $1 \text{ км}^2$  потребуется  $10^7$  кг алюминия, а известные на сегодня мировые запасы этого металла оцениваются в  $1,17 \cdot 10^{12}$  кг. Крупномасштабное использование солнечной энергии влечет за собой гигантское увеличение потребностей в материалах и далее в трудовых ресурсах для добычи сырья, его переработки, изготовления оборудования, его перевозки, установки и эксплуатации. Если в традиционной топливной энергетике на производство  $1 \text{ МВт} \cdot \text{год}$  электроэнергии требуется примерно 300 – 500 человеко-часов, то для получения такого же результата с помощью солнечной энергетике потребуется затратить от 10 000 до 40 000 человеко-часов, т.е. примерно в сто раз больше. Так что пока электрическая энергия от солнечных лучей обходится намного дороже и экономические проблемы кажутся неразрешимыми в ближайшей перспективе. Но это совсем не означает, что в отдельных специфических ситуациях солнечная энергетика не может оказаться экономически более выгодной по сравнению с другими.

Солнечная энергетика имеет уже довольно продолжительную историю. В 1600 г. во Франции был создан первый солнечный двигатель, работавший на нагретом воздухе и использовавшийся для перекачки воды.

В конце XVII в. ведущий французский химик А. Лавуазье создал первую солнечную печь, в которой достигалась температура в  $1650 \text{ }^\circ\text{C}$  и нагревались образцы исследуемых материалов в вакууме и защитной атмосфере.

В 1866 г. француз А. Мушо построил в Алжире несколько крупных солнечных концентраторов и использовал их для дистилляции воды и приводов насосов. На Всемирной выставке в Париже в 1878 г. А. Мушо продемонстрировал солнечную печь для приготовления пищи, в которой  $0,5 \text{ кг}$  мяса можно было сварить за 20 минут. В 1833 г. в США Дж. Эриксон построил солнечный воздушный двигатель с параболоцилиндрическим концентратором размером  $4,8 \times 3,3 \text{ м}$ . Первый плоский коллектор солнечной энергии был построен французом Ш.А. Тельером. Он имел площадь  $20 \text{ м}^2$  и использовался в тепловом двигателе, работавшем на аммиаке. В 1885 г. была предложена схема солнечной установки с плоским коллектором для подачи воды, причем он был смонтирован на крыше пристройки к дому.

Первая крупномасштабная солнечная установка для дистилляции воды была построена в Чили в 1871 г. американским инженером Ч. Уилсоном. Она эксплуатировалась в течение 30 лет, поставляя питьевую воду для рудника. В 1890 г. профессор В.К. Цераский в Москве осуществил процесс плавления металлов солнечной энергией, сфокусированной параболоидным зеркалом, в фокусе которого температура превышала  $3000 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Ниже будут приведены примеры современных действующих достаточно мощных гелиоэлектростанций.

Энергия Солнца могла бы иметь большое значение, в первую очередь для развивающихся стран. Именно там особенно остро ощущается нехватка энергии для промышленности, и в то же время многие из этих стран лежат в тропических и субтропических зонах, где яркое солнце светит до 300 дней в году! Использование солнечной энергии в производственных процессах могло бы здесь в значительной мере заменить традиционные источники и стать началом «чистого» (т.е. не загрязняющего жизненную среду) решения энергетической проблемы.

Впрочем и в промышленно развитых государствах обостряющиеся экологические трудности и дефицит энергии заставляют специалистов внимательно следить за экспериментами по прямому использованию солнечной энергии. Эта энергия не связана с появлением дыма, пыли или вредных газов, не оставляет радиоактивных отходов, и к тому же практически неисчерпаема. Солнечная радиация могла бы встать в будущем главным и чистым источником энергии. Этой проблеме был посвящен Международный конгресс «Солнце на службе человека», проведенный по инициативе ЮНЕСКО в Париже в июле 1973 года.

Перейдем теперь к рассуждениям и понятиям более близким к инженерному мышлению. Количество энергии излучения Солнца во всем диапазоне длин волн, получаемой в единицу времени единичной площадкой, перпендикулярной солнечным лучам вне земной атмосферы на расстоянии между Землей и Солнцем, называется солнечной постоянной  $I_0$ . Значение  $I_0$  получено измерениями с космических аппаратов и стандартно принимается  $I_0 = 1353 \text{ Вт/м}^2$ . Эффективная солнечная постоянная  $I_{0\text{эф}}$  учитывает сезонные колебания расстояния между Землей и Солнцем и рассчитывается по формуле

$$I_{0\text{эф}} = I_0 \left[ 1 + 0,033 \cdot \cos \left( \frac{360 n}{365} \right) \right],$$

где  $n$  – порядковый номер дня, отсчитанный от 1-го января.

При прохождении через атмосферу мощность солнечной радиации уменьшается за счет поглощения и рассеяния пылью, аэрозолями и молекулами газов. Часть падающей энергии отражается в космос. Доля отраженного тепла зависит от того, на какую поверхность попадает излучение. Так, для сухого чернозема эта доля равна 0,14, вспаханного поля 0,26 ... 0,38, снега 0,6 ... 0,9, водной поверхности 0,2 ... 0,78 в зависимости от угла падения солнечных лучей. Так что плотность теплопритока неодинакова на различных широтах Земли, в различные времена года и периоды суток. В субтропиках и пустынях ее среднегодовое значение составляет 210 ... 250 Вт/м<sup>2</sup>, в центральной части Европы 130 ... 210 Вт/м<sup>2</sup>, в северо-европейских странах 80 ... 130 Вт/м<sup>2</sup>. Для ориентировочных расчетов в нижеследующей табл. 2.1 приведены средние значения плотности теплового потока лучистой энергии  $q_d$  по временам года для отдельных территорий России.

## 2.1 Средняя плотность теплопоступления от солнечной радиации $q_d$ , Вт/м<sup>2</sup>

Широта, град	Регион	Весна	Лето	Осень	Зима
45	Северный Кавказ	180,6	265,1	134,2	47,4
50	Нижняя Волга	160,9	255,8	112,3	27,8
55	Москва, Южный Урал, Прибайкалье	121,5	245,4	91,4	8,1
60	Верхняя Волга, Якутия	118,0	234,9	70,6	2,3
65	Север России	98,4	218,7	67,1	0,1

Для уточненных расчетов гелиоэнергетических установок обычно используют среднемесячный приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность для данной местности  $\bar{H}$ , Дж/(см<sup>2</sup>·сут), значения которого для разных месяцев года приводятся в справочнике [1]. Среднемесячный суточный приход радиации на наклонную поверхность рассчитывают с учетом коэффициента наклона солнечной радиации  $R$ , величина которого зависит от угла наклона поверхности  $s$  и коэффициента облачности  $K_0$

$$\bar{H}_\phi = R\bar{H}.$$

Значения  $R$  в зависимости от широты местности  $\phi$ , месяца, величины  $K_0$  и угла  $s$  приведены в специальной таблице в том же справочнике. При этом величина  $K_0$  определяется как отношение действительного прихода радиации к суточному приходу радиации на горизонтальную поверхность за пределами земной атмосферы

$$K_0 = \bar{H} / \bar{H}_0,$$

где величину  $\bar{H}_0$  определяют в зависимости от широты  $\phi$  и месяца года по другой специальной таблице в справочнике [1].

Улавливание и преобразование солнечной энергии в теплоту осуществляется с помощью оптической системы отражателей и приемника сконцентрированной солнечной энергии, используемой для получения водяного пара или нагрева газообразного или жидкометаллического теплоносителя (рабочего тела).

## 2.2 Коллекторы солнечной энергии

Так называются технические устройства, предназначенные для улавливания солнечной радиации, преобразования ее в теплоту и передачу этой теплоты промежуточному теплоносителю, подаваемому в теплоиспользующую технологическую или энергетическую установку.

Различают два типа солнечных коллекторов – плоские и фокусирующие. В плоских коллекторах солнечная энергия поглощается без концентрации, а в фокусирующих – с концентрацией, т.е. с увеличением плотности поступающего потока радиации. Наиболее распространенным типом коллекторов в низкотемпературных гелиоустановках является плоский коллектор солнечной энергии (КСЭ). Его работа основана на принципе «горячего ящика» или парника. Устройство плоского КСЭ схематично показано на рис. 2.1. Солнечная энергия переносится главным образом световыми и в меньшей мере инфракрасными лучами. Световые лучи достаточно хорошо проходят через верхнюю стеклянную (или из полимерной пленки) панель коллектора и поглощаются на лучепоглощающей поверхности, выполненной из высокотеплопроводного материала и имеющей высокий коэффициент поглощения. Трубки с движущимся в них теплоносителем имеют надежный тепловой контакт с этой поверхностью. Совокупность плоской лучепоглощающей поверхности и труб (каналов) для теплоносителя образует единый конструктивный элемент – абсорбер солнечной радиации. Для лучшего поглощения солнечной энергии верхняя поверхность абсорбера окрашивается в черный цвет или имеет специальное поглощающее покрытие.

Нагреваясь, абсорбер излучает тепло на внутренние поверхности коллектора. Однако при невысокой температуре излучения это, в основном, инфракрасные лучи, которые очень плохо проникают через стеклянную панель. Для уменьшения теплопотерь у боковых и нижней поверхностей устанавливаются достаточно толстые слои тепловой изоляции.

Основной характеристикой КСЭ является его тепловой КПД, показывающий, какая доля солнечной энергии  $Q_{\text{л}}$ , падающей на коллектор, передается в форме тепла  $Q_{\text{пол}}$  потребителю

$$\eta_{\text{т}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{л}}} = \frac{M_{\text{т}} c_{\text{т}} (t_2 - t_1)}{Q_{\text{л}}},$$

где  $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{л}} - Q_{\text{пот}}$ , поскольку количество полезного тепла определяется разностью между  $Q_{\text{л}}$  и теплопотерями  $Q_{\text{пот}}$ , которые в свою очередь могут быть рассчитаны по известной формуле

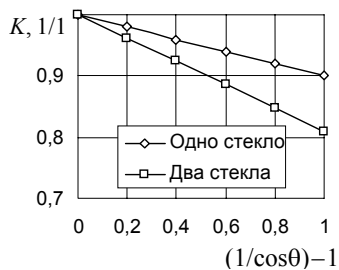
$$Q_{\text{пот}} = kF (t_{\text{а}} - t_{\text{о}});$$

$k$  – средний эффективный коэффициент теплопередачи;  $F$  – площадь теплоотдающей поверхности;  $t_{\text{а}}$  и  $t_{\text{о}}$  – средняя температура поверхности абсорбера и температура окружающей среды, соответственно;  $M_{\text{т}}$  – массовый расход теплоносителя через КСЭ;  $c_{\text{т}}$  – удельная теплоемкость теплоносителя;  $t_1$  и  $t_2$  – температуры теплоносителя на входе и выходе из КСЭ.

Оптический КПД коллектора  $\eta_{\text{о}}$  показывает, какая доля солнечной радиации, достигшей поверхности остекления коллектора, оказывается поглощенной абсорбирующей поверхностью. Он учитывает коэффициент пропускания стекла  $\alpha$  и коэффициент поглощения абсорбирующей поверхности  $\beta$ . Для однослойного остекления

$$\eta_{\text{о}} = (\alpha\beta)_{\text{н}},$$

где  $(\alpha\beta)_{\text{н}}$  – произведение названных коэффициентов при нормальном к поверхности стекла и абсорбера падении солнечных лучей. В случае, когда угол падения лучей отличается от прямого, вводится поправочный множитель  $K$ , учитывающий увеличение потерь на отражение лучей. На рис. 2.2 приведен график зависимости этого коэффициента от угла  $\theta$  между направлением луча и нормалью к поверхности остекления.



**Рис. 2.2 Поправочный коэффициент, учиты-**

С учетом угла падения лучей оптический КПД определяется по формуле

$$\eta_o = K(\alpha\beta)_н.$$

Оптический и тепловой КПД связаны соотношением

$$\eta_t = \eta_o - \frac{Q_{пот}}{I\Omega},$$

где  $Q_{пот}$  – тепловые потери коллектора;  $I$  – плотность потока солнечной радиации;  $\Omega$  – площадь апертуры коллектора.

Тепловые потери характеризуются величиной коэффициента теплопотерь  $U$

$$U = \frac{Q_{пот}}{\Omega(t_a - t_o)}.$$

Величина  $U$  определяется качеством теплоизоляции и с достаточной для расчетов точностью для каждого вида коллекторов может считаться постоянной. Если выразить отсюда  $Q_{пот}$  и подставить это выражение в предыдущую формулу, то получим

$$\eta_t = \eta_o - \frac{U(t_a - t_o)}{I},$$

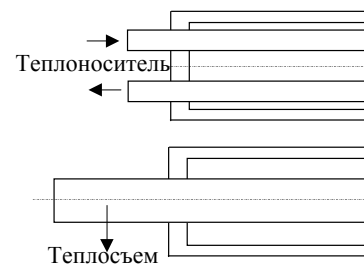
откуда видно, что с увеличением  $t_a$  величина  $\eta_t$  уменьшается. При некотором значении  $t_a$  КПД коллектора может стать равным нулю, и эта температура является предельно достижимой для данного коллектора.

Плоские солнечные коллекторы используют обычно в системах, где уровень нагрева теплоносителя не превышает 80 ... 90 °С. Для нагрева до более высоких температур используют вакуумные коллекторы. В них поглощающая поверхность отделена от окружающей среды вакуумированным пространством, что позволяет значительно уменьшить потери теплоты в окружающую среду за счет исключения теплопроводности и конвекции. При этом потери излучением в значительной степени подавляются применением селективных покрытий, поглощение которых во много раз выше, чем излучение. Вакуумные коллекторы, схемы конструктивного выполнения которых приведены на рис. 2.3, позволяют нагревать теплоносители до 120 ... 150 °С и выше.

Вакуумированный коллектор состоит из стеклянного корпуса (трубка диаметром 100 ... 150 мм), внутри которой размещаются лучевоспринимающая поверхность с селективным покрытием и трубки для теплоносителя прямой или U-образной формы (или вместо их тепловые трубки). Пространство внутри стеклянного корпуса вакуумируется до давления 0,01 мм. рт. ст., что практически полностью исключает теплопроводность и конвекцию внутри коллектора. Обычно трубчатые коллекторы монтируются отдельными модулями по 10 труб.

Эффективность работы вакуумных коллекторов зависит от оптических свойств селективной поверхности абсорбера. По избирательности свойств различают четыре группы селективных покрытий: собственные, двухслойные, с микрорельефом, обеспечивающим аналогичный эффект и интерференционные.

Собственной избирательностью оптических свойств обладает небольшое число материалов, поэтому наибольшее применение получили двухслойные селективные пленочные покрытия. На поверхность, которой нужно придать селективные свойства, наносится слой с большим коэффициентом отражения в длинноволновой области, например медь, никель, молибден, серебро, алюминий. Сверху этого слоя наносится слой, прозрачный для излучения в длинноволновой области, но имеющий большой коэффициент поглощения в видимой части спектра. Такими свойствами обладают многие оксиды. Простейший пример получения двухслойной селективной поверхности – это окисление поверхности названных металлов. Наилучшие результаты получены, например, для пленок с черным хромом на алюминиевой фольге, с черным никелем на никелевой подложке (коэффициент поглощения  $\alpha = 0,96$ , степень черноты



**Рис. 2.3 Вакуумный коллектор**  
1 – трубка для теплоносителя

3 – стеклянная трубка

$\varepsilon = 0,07$ ). Отношение  $\alpha / \varepsilon$  называют степенью селективности, при  $\alpha / \varepsilon > 30$  равновесная температура вакуумного абсорбера (без теплоносителя) может достигать 350 ... 600 °С.

Селективность поверхности может быть обеспечена за счет геометрических факторов. Для этого микронеровности поверхности должны быть больше длины волны в видимой области спектра и меньше длины волны в инфракрасном диапазоне. Такая поверхность для первой области будет черной, а для второй – зеркальной. Подобными селективными свойствами обладают также тела с пористой структурой при соответствующих размерах пор.

Интерференционные селективные поверхности образуются несколькими перемежающимися слоями металла и диэлектрика, в которых коротковолновое излучение гасится за счет интерференции, а длинноволновое – свободно отражается.

## 2.3 Концентраторы солнечной энергии

Всякая вещь хороша на своем месте.

### *Русская пословица*

тобы повысить температуру нагрева теплоносителя в солнечном коллекторе, на лучепоглощающую поверхность абсорбера направляется концентрированный пучок солнечных лучей. Фокусирование потока лучистой энергии на объекте с меньшей площадью производится с помощью зеркал или линз. Обычно зеркала изготавливают из полированного металла с высокой отражательной способностью, т.е. с малым значением степени черноты  $\varepsilon$ . На рис. 2.4 приведены схемы зеркальных и линзовых концентраторов солнечной энергии. На рис. 2.4, а показан концентратор из набора зеркал, направляющих падающие солнечные лучи на коллектор. Естественно, что каждое зеркало должно быть сориентировано в пространстве по-своему и это затрудняет создание системы автоматического слежения и установки зеркал в направлении Солнца. На рис. 2.4, б показан параболоцилиндрический зеркальный концентратор, а на рис. 2.4, в – концентратор с параболическим зеркалом, более удобный для автоматизации.

Для концентрации солнечных лучей могут быть использованы двояковыпуклые (рис. 2.4, д), плосковыпуклые, выпукло-вогнутые линзы и линзы Френеля (рис. 2.4, з). Такие линзы изготавливаются из стекла или прозрачной пластмассы.

Применяют концентраторы обычно на солнечных электростанциях или в солнечных плавильных печах, где добиваются повышения температуры на абсорбере до 500 ... 1000 °С.

## 2.4 Аккумуляторы тепловой энергии гелиоустановок

С уточная периодичность поступления солнечной радиации заставляет искать способы аккумуляции полученного от Солнца тепла с тем, чтобы использовать это тепло потом в соответствии с графиком потребления для бытовых и производственных целей. Например, максимум солнечной радиации приходится на полдень, а потребность в горячей воде и электроэнергии достигает максимума в вечерние часы. Также не соответствуют и сезонные возможности и потребности. Летом, когда солнечное излучение наибольшее, необходимость в отоплении отсутствует, а зимой – все наоборот. Поэтому избыток поступающего тепла стараются аккумулировать, чтобы при недостаточном поступлении его от Солнца пополнять тепловой поток за счет запасенного тепла. В качестве аккумуляторов тепла применяются регенеративные теплообменники, которые работают всегда в циклическом режиме, чередуя нагрев промежуточного теплоносителя (а значит, и некоторый запас тепла) с его последующим охлаждением и отдачей аккумулированного тепла.

В зависимости от продолжительности рабочего цикла различают часовые, суточные и сезонные аккумуляторы теплоты. Различаются они и по температурному диапазону: в системах воздушного отопления температура аккумулятора примерно 30 °С, в системах горячего водоснабжения 45 ... 60 °С, в системах водяного отопления – до 90 °С, а на гелиоэлектростанциях она может достигать и 150 °С.

По принципу действия тепловые аккумуляторы делятся на два класса. В первом из них накопление теплоты происходит только за счет нагревания теплоаккумулирующего материала без изменения его агрегатного состояния. Более эффективными являются устройства, в которых тепло в основном расходуется на плавление твердого теплоаккумулирующего материала, т.е. на осуществление фазового перехода первого рода. В случае необходимости это тепло забирается потом промежуточным теплоносителем в процессе его выделения при затвердевании расплава.

На рис. 2.5 приведены схемы типичных тепловых аккумуляторов. На схеме *a* показана конструкция, в которой в качестве аккумулирующего теплоносителя используется вода из контура потребления тепловой энергии. Основу конструкции составляет теплоизолированный бак с горячей водой, внутри которого расположен рекуперативный трубчатый теплообменник. Внутри трубок циркулирует горячий теплоноситель из коллекторов солнечного излучения. Бак соединен трубами с потребителем тепловой энергии (ПТЭ). Достоинством такой схемы является полное разделение потоков теплоносителей и поэтому она удобна для систем горячего водоснабжения. Движение теплоносителей может быть как естественным, за счет разности плотностей нагретых и холодных слоев теплоносителя, так и принудительным, под действием циркуляционных насосов.



**Рис. 2.5** Схемы аккумуляторов тепловой энергии:

нагретые (это называется стратификацией теплоносителя). В результате к потребителю идет более нагретая вода, в к солнечным коллекторам – с наименьшей температурой.

В системах воздушного или водяного отопления, когда допускается смешивание потоков теплоносителей, могут применяться аккумуляторы с твердым теплоаккумулирующим материалом (рис. 2.5, б). В качестве насыпки используется дробленый камень или галька. В процессе зарядки через насыпку пропускается воздух, нагретый в солнечном коллекторе. Когда температура насыпки достигнет температуры этого воздуха, продувка прекращается. Для передачи аккумулированного тепла через нагретый слой прокачивается холодный воздух, направляемый затем потребителю.

На рис. 2.5, в показано устройство аккумулятора второго типа. Здесь бак заполнен легкоплавким веществом, которое перед началом зарядки находится в твердом состоянии. При подводе тепла через рекуперативный теплообменник от солнечного коллектора это вещество сначала нагревается до температуры плавления, затем плавится, а после этого уже расплав нагревается до некоторой конечной температуры  $t_{кон}$ , при которой и сохраняется запасенное тепло. В период потребления тепла по другому теплообменнику пропускается холодный теплоноситель от потребителя тепла. Нагретое вещество сначала охлаждается до температуры плавления, а затем затвердевает, отдавая свое тепло этому теплоносителю (при этом в процессе затвердевания температура в баке остается сравнительно высокой и практически постоянной).

К аккумуляторам теплоты следует отнести и так называемые солнечные пруды. Схематический разрез такого пруда приведен на рис. 2.6. Солнечный пруд заполняется высококонцентрированным водным раствором соли и работает одновременно и как коллектор солнечного излучения, и как тепловой аккумулятор. Солнечные лучи проходят через толщу солевого раствора и поглощаются специально зачерненным днищем бассейна. От днища нагревается прилегающий к нему слой раствора, в результате растворимость соли в нем увеличивается, увеличивается и плотность этого слоя. Теплопроводность раствора невелика, и чем дальше от дна, тем меньше температура и плотность раствора. Так что теплотери с поверхности пруда, где собирается почти пресная вода, оказываются незначительными, а разогрев раствора около днища может доходить до 70 ... 100 °С. Именно в этих слоях и располагают специальный теплообменник, через который циркулирует теплоноситель, направляемый к потребителю тепловой энергии.

Для инженерных расчетов важнейшими характеристиками аккумулятора являются его энергоемкость и продолжительность нагрева до рабочей температуры. Энергоемкостью называют количество тепла  $Q$ , которое аккумулируется массой  $m$  теплоаккумулирующего материала при нагревании его от температуры  $t_1$  до температуры  $t_2$ :

$$Q = mc(t_2 - t_1).$$

Величину  $Q/V$ , где  $V$  – объем аккумулятора, называют удельной энергоемкостью:

$$q_v = \rho c(t_2 - t_1).$$

Продолжительность зарядки  $\tau_3$  зависит от интенсивности подвода солнечной энергии и характеристик КСЭ, типа аккумулятора, массы теплоаккумулирующего материала. Для аппаратов без разделения теплоносителей этот параметр определится так

$$\tau_3 = \frac{Q}{q_l \eta_k \eta_a \eta_T},$$

где  $q_l$  – плотность потока солнечного излучения, рассчитываемая в зависимости от широты местности и времени года;  $\eta_k$ ,  $\eta_a$ ,  $\eta_T$  – КПД, характеризующие тепловые потери в коллекторе, аккумуляторе и трубопроводах, соответственно.

Продолжительность зарядки аккумулятора с внутренним рекуперативным теплообменником в цепи КСЭ (рис. 2.5, а) рассчитывается из предположения, что процесс разогрева проходит в регулярном режиме нестационарной теплопроводности и температура в баке изменяется по закону экспоненты. Тогда

$$\tau_3 = \frac{mc}{k_{та} F_{та}} \ln \frac{\bar{t} - t_2}{\bar{t} - t_1},$$

где  $k_{та}$  – коэффициент теплопередачи теплообменника;  $F_{та}$  – поверхность теплообмена;  $\bar{t}$  – средняя температура горячего теплоносителя,  $\bar{t} = (t_1 + t_2)/2$ .

В аккумуляторах второго типа (рис. 2.5, с) энергоемкость  $Q$  определяется с учетом теплоты плавления  $r$  теплоаккумулирующего материала

$$Q = m[c_{тв}(t_{пл} - t_1) + r + c_{ж}(t_2 - t_{пл})],$$

где  $c_{тв}$  и  $c_{ж}$  – теплоемкости теплоаккумулирующего материала в твердой и жидкой фазах, соответственно;  $t_{пл}$  – температура плавления. Энергоемкость таких аккумуляторов в 5 – 10 раз выше, чем у таких же по объему аккумуляторов первого типа.

Длительность разрядки аккумулятора  $\tau_{раз}$  определяется тепловой мощностью теплоиспользующей установки  $q_{уст}$  и ее теплотерями:

$$\tau_{раз} = \frac{Q}{q_{уст} \eta_{ак} \eta_{уст} \eta_{тр}},$$

где  $\eta_{ак}$ ,  $\eta_{уст}$ ,  $\eta_{тр}$  – КПД, характеризующие теплотери в аккумуляторе, самой установке и подводящих трубах, соответственно.

## 2.5. Системы солнечного теплоснабжения

снащение систем теплоснабжения гелиоустановками способно существенно уменьшить расходы тепла, а значит и топлива, на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Не случайно уже к 1991 г. в мире работало более пяти миллионов солнечных водонагревательных установок, расположенных, правда, в основном в южных странах. Однако и в южных районах России гелионагревательные системы коммунально-бытового назначения оказываются вполне экономически оправданными и перспективными, особенно при использовании промышленных солнечных коллекторов, серийное производство которых освоено на отдельных заводах страны.

Такие системы отличаются большим разнообразием конструкций, но в основном состоят из рассмотренных выше агрегатов: коллекторов солнечного излучения (иногда с концентраторами), аккумуляторов энергии, соединительных трубопроводов, циркуляционных насосов, запорно-регулирующей арматуры. Ниже приведены некоторые схемы таких установок.

На рис. 2.7 изображена схема термосифонной водонагревательной установки, в которой циркуляция греющего теплоносителя осуществляется за счет разницы плотностей нагретых и более холодных слоев (в подъемной и опускной трубах). Интенсивность движения теплоносителя определяется величиной подъемной силы, создающей циркуляционное давление

$$\Delta p_{\text{ц}} = (\rho_{\text{оп}} - \rho_{\text{под}})gH,$$

где  $\rho_{\text{оп}}$  и  $\rho_{\text{под}}$  – плотности теплоносителя в опускном и подающем трубопроводах;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $H$  – расстояние по вертикали между точками ввода холодного теплоносителя в коллектор и нагретого теплоносителя в бак-аккумулятор. Для обеспечения надежной циркуляции бак должен располагаться выше коллектора. При этом бак заполняется водой так, чтобы ее уровень всегда был выше точки ввода нагретой воды из коллектора. Для выпуска из системы воздуха при ее заполнении и работе и для компенсации тепловых расширений служит расширительный сосуд, устанавливаемый в верхней точке системы и сообщающийся сверху с атмосферой. Разумеется, все элементы конструкции должны быть хорошо теплоизолированы.

Естественная циркуляция не способна обеспечивать высокой интенсивности теплоотдачи в трубках коллектора, поэтому на установках большой производительности с помощью циркуляционного насоса организуется принудительное движение теплоносителя. При этом, как правило, введением специального теплообменника поток, циркулирующий через коллектор, отделяется от потока, идущего к потребителю. Такое разделение потоков исключает смешивание рабочих жидкостей и загрязнение теплоносителя КСЭ сетевой водой. Это особенно важно, когда в качестве такого теплоносителя используется или специально подготовленная вода, или (если установка работает при отрицательных температурах) антифриз. Схемы с принудительным движением теплоносителя через солнечный коллектор называют активными. На рис. 2.8 приведен один из вариантов такой схемы.

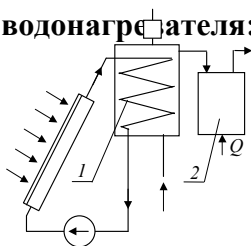
Для нагрева воды в период ослабления или прекращения солнечной радиации в схему включают дополнительный источник энергии (газовый или электрический водоподогреватель), как это показано на рис. 2.9. Включение теплообменника в контур КСЭ заметно уменьшает объем циркулирующего там теплоносителя, что важно при использовании антифриза.

Активные отопительные гелиоустановки могут иметь достаточно большую производительность, обеспечивая теплоснабжение крупных жилых зданий и комплексов. Принудительное движение теплоносителя в отдельных контурах позволяет устраивать систему автоматического регулирования температуры потребляемой воды и температуры в отапливаемых помещениях. На рис. 2.10 приведена схема одной из реальных систем солнечного теплоснабжения крупного жилого здания. Как это видно из рисунка, здесь полностью разделены потоки теплоносителя в КСЭ, воды для горячего водоснабжения и воды для системы отопления, имеются резервные источники

тепла и система автоматического управления и регулирования с мини-ЭВМ, отслеживающая необходимость включения резервных источников и поддерживающая заданные температурные уровни на-



**Рис. 2.8** Схема активного водонагревателя:



**Рис. 2.9** Схема с резервным водонагревателем:

1 – теплообменник;  
2 – дополнительный водонагреватель

тепла и система автоматического управления и регулирования с мини-ЭВМ, отслеживающая необходимость включения резервных источников и поддерживающая заданные температурные уровни на-

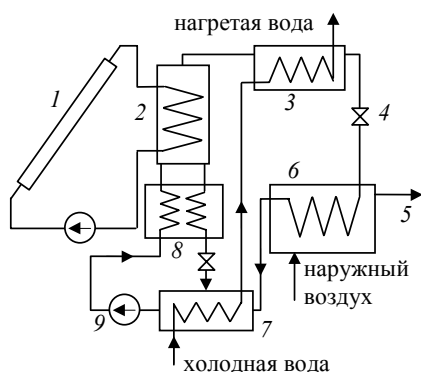
греваемой воды. В районах с большим числом солнечных дней в году такая система может удовлетворить потребность в теплоснабжении примерно на 75 %. Остальные 25 % должны давать традиционные источники.

Теплота солнечной радиации может служить не только источником теплоснабжения или электроснабжения, но и быть источником энергии для получения холода, что особенно важно в тех местностях, где летний зной делает жизнь людей невыносимой. На рис. 2.11 показана принципиальная схема солнечной установки, предназначенной не только для теплоснабжения здания, но и для охлаждения воздуха внутри помещения в течение летнего периода. В дополнение к уже известным устройствам здесь в установку включен еще и холодильный агрегат абсорбционного типа. Для функционирования такого холодильника не нужно подводить механи-

**Рис. 2.11. Солнечный холодильник;**  
**1 – КОЛЛЕКТОР;**  
**2 – ПАРОВОЙ НАСОС;**  
**3 – ТЕПЛООБМЕННИК;**  
**4 – НАГРЕВАТЕЛЬ ВОДЫ;**  
**5 – ОХЛАЖДЕННЫЙ ВОЗДУХ ПОТРЕБИТЕЛЮ;**  
**6 – ТЕПЛООБМЕННИК;**  
**7 – НАГРЕВАТЕЛЬ ВОЗДУХА;**  
**8 – ТЕПЛООБМЕННИК;**  
**9 – НАГРЕВАТЕЛЬ ВОЗДУХА;**  
**10 – ТЕПЛООБМЕННИК;**

**1 – КСЭ; 2 – ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК; 3 – БАК НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ; 4 – ТЕПЛООБМЕННИК ЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ; 5 – НАГРЕВАТЕЛЬ ВОЗДУХА; 6 – ПИТАТЕЛЬНАЯ ВОДА; 7 – ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ; 8 – ТЕПЛООБМЕННИК ОТОПЛЕНИЯ; 9 – ТЕПЛООБМЕННИК ОТОПЛЕНИЯ; 10 – ТЕПЛООБМЕННИК ОТОПЛЕНИЯ;**

Рис. 2.10 Схема теплоснабжения



ческую работу извне, ее заменяет подводимая извне теплота. Рабочим телом в абсорбционных холодильных машинах служит бинарная смесь хладагента (обычно аммиак или вода) и абсорбента, способного самопроизвольно растворять и поглощать хладагент (это вода для аммиака или бромистый литий для воды). Подчеркнем, что температуры кипения хладагента  $t_{\text{нх}}$  и абсорбента  $t_{\text{на}}$  должны быть существенно разными и  $t_{\text{нх}} \ll t_{\text{на}}$ .

Чтобы понять принцип работы абсорбционного холодильника, рассмотрим некоторые термодинамические свойства бинарных смесей. На рис. 2.12 приведена фазовая  $t - C$  диаграмма бинарной смеси при некотором фиксированном давлении  $p$ . На ней линия  $AaB$  отражает зависимость температуры кипения смеси от массовой концентрации  $C$  хладагента. При  $C = 0$  это температура кипения абсорбента  $t_{\text{на}}$ , а при  $C = 1$  – температура кипения чистого хладагента  $t_{\text{нх}}$ , при  $0 < C < 1$  температура кипения смеси  $t_{\text{нсм}}$  имеет некоторое промежуточное значение.

Каждому понятно, что при достижении  $t_{\text{нсм}}$  жидкая смесь начинает кипеть, но интенсивность парообразования каждой из составляющих смеси неодинакова, и та из них (в нашем случае хладагент), температура кипения которой ниже, выкипает интенсивней.



В результате при равновесном состоянии жидкость – пар концентрация хладагента в паровой фазе будет намного большей, чем в жидкой смеси. Эти состояния отражены линией  $AbB$ . Если насыщенный пар далее нагревать, то образуется перегретый пар с определенной концентрацией компонент.

Установив, что при парообразовании концентрация хладагента в паровой фазе больше, чем в жидкой смеси, посмотрим теперь, что происходит при конденсации насыщенного пара бинарной смеси. Если насыщенный пар с достаточно высокой концентрацией  $C_b$  соприкасается с жидкостью, концентрация хладагента в которой гораздо

хладагента в которой гораздо меньше, чем у пара (точка 1 на линии  $AaB$ ), то он, имея более низкую температуру по отношению к жидкости является переохлажденным (равновесное состояние при концентрации  $C_1$  отражается точкой 2 на линии  $AbB$ ) и поэтому он будет конденсироваться, а точнее – поглощаться или абсорбироваться жидкостью. Естественно, что концентрация  $C$  в жидкой смеси будет постепенно увеличиваться за счет избытка хладагента в абсорбируемом паре.

Как это видно из приведенной на рис. 2.11 схемы, нагретая в солнечном коллекторе вода или другой теплоноситель с температурой около  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  направляется в парогенератор, где отдает свое тепло на выпаривание аммиака из концентрированного водного раствора, нагретого предварительно в специальном теплообменнике. После выпаривания слабый раствор с температурой около  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  направляется в абсорбер, где поглощает (абсорбирует) пары аммиака. Теплоту, которую несет с собой слабый раствор, утилизируют для нагревания воды, поступающей на теплоснабжение или горячее водоснабжение, а также на нагрев концентрированного раствора перед парогенератором. В абсорбере концентрация раствора вновь повышается, и он насосом снова направляется в парогенератор.

Пар с повышенной концентрацией хладагента, который образуется в парогенераторе, сначала подвергается сепарированию от капель раствора, а затем направляется в конденсатор, где он отдает свое тепло на дополнительный нагрев воды, идущей на теплоснабжение здания (частично эта вода нагревается еще и в абсорбере). Из конденсатора жидкий аммиак направляется в дроссельный вентиль, где дросселируется и при этом заметно захлаживается (примерно до температуры  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Далее аммиак попадает в испаритель. Здесь он, отбирая тепло от направляемого на охлаждение наружного воздуха, испаряется и уже в газообразном виде поступает далее в абсорбер, чтобы быть там поглощенным слабым раствором, пришедшим из парогенератора.

Поскольку плотность концентрированного раствора всегда больше плотности раствора малоконцентрированного и тем более плотности пара, то, располагая аппараты соответствующим образом, можно исключить циркуляционный насос и создать установку, в которой циркуляция жидкости будет осуществляться за счет естественной конвекции и отсутствуют движущиеся детали.

Существуют и более сложные, и более простые схемы, обеспечивающие или большую производительность, или большую экономичность сооружения. К сожалению, экономика пока не приветствует строительство таких комбинированных систем, поскольку стоимость их почти в 20 раз больше, чем цена обычного электрического кондиционера на ту же холодопроизводительность. Конечно, эти затраты могут окупиться бесплатностью солнечной энергии, но растянется это на многие-многие годы.

## 2.6 Гелиотехнологические установки

Солнечное излучение можно также использовать для энергообеспечения различных технологических процессов, таких как опреснение минерализованных вод, сушка сельскохозяйственных продуктов, выращивание растений в теплицах и др.

Для многих южных районов нашей страны остро стоит проблема обеспечения населения и промышленных предприятий чистой пресной водой, поскольку природные источники сильно засолены и вода из них не пригодна для питья. Поэтому прибегают к термическому обессоливанию воды путем конденсации пара, выделяемого соленой водой при ее испарении. Необходимое для парообразования тепло подводится к опреснительной установке от внешних источников, в гелиоустановках таким источником является солнечное излучение.

Наибольшее распространение получили солнечные опреснительные установки бассейнового типа, устройство которых хорошо поясняет

рис. 2.13. Основанием такой установки служит бассейн, заполняемый на небольшую глубину засоленной водой. Необходимый уровень воды автоматически поддерживается поплавковым клапаном. Сверху бассейн накрыт двустенной полусферической оболочкой, выполненной из прозрачной пластмассы. В пространство между стеками оболочки медленно циркулирует засоленная вода, большая часть которой расходуется на пополнение бассейна. Солнечные лучи, проникая сквозь оболочку, поглощаются водой и зачерненным днищем бассейна. В результате вода в бассейне нагревается и интенсивно испаряется. Образовавшийся пар конденсируется на более холодной внутренней поверхности оболочки. Конденсат (дистиллированная вода) стекает по внутренней поверхности в сборный лоток, откуда и подается потребителю. Теплота парообразования, выделяясь на поверхности конденсации, подогревает циркулирующую воду, что приводит к увеличению температуры воды в бассейне, повышению интенсивности испарения и увеличению производительности установки.

С течением времени концентрация соли в бассейне увеличивается, поэтому периодически воду из бассейна сливают в дренаж и заполняют его свежей водой.

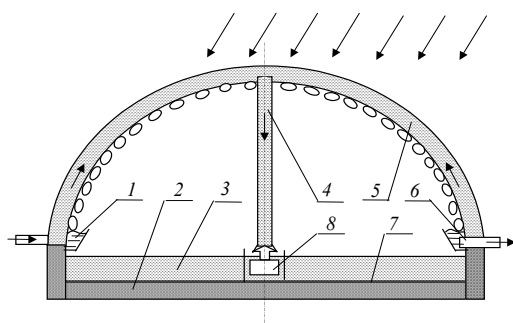
В настоящее время в мире успешно эксплуатируются десятки мощных гелиоустановок для опреснения морской воды с площадью бассейна от 100 до 3000 м<sup>2</sup> и производительностью до 80 м<sup>3</sup> пресной воды в сутки.

Большой экономический эффект дает использование солнечной энергии для ускоренного выращивания ранних овощей в закрытом грунте

(в теплицах) при температуре, превышающей температуру наружного воздуха.

Гелиотеплицы позволяют значительно сократить расход органического топлива

на отопление и вентиляцию таких производственных помещений. При этом необходимо обеспечить поступление в теплицу требуемого количества солнечной энергии, возмож-



**Рис. 2.13** Схема гелиоопреснительной установки:

1 – лоток для конденсата; 2 – теплоизолированное основание бассейна;

3 – солёная вода; 4 – питатель; 5 – полусферическая оболочка; 6 – регулятор температуры и состава воздуха в теплице, снижение суточных колебаний температуры в помещении, вызванных неравномерным поступлением тепла в течение суток. На рис. 2.14 приведена схема такой теплицы.

Солнечная радиация попадает в теплицу через прозрачные (из стекла или полимерной пленки) поверхности крыши и передней стенки, обращенной на юг. Для средней полосы России оптимальными будут углы наклона этих стенок  $\alpha_1 = 50 \dots 60$ ,  $\alpha_2 = 20 \dots 35$ , а соотношение поверхностей грунта и остекления – от 1 до 1,5. Другие наружные стены, особенно северная, должны быть хорошо теплоизолированы, а изнутри окрашены белой краской, которая хорошо отражает световые лучи, направляя их на растения и обогреваемый грунт. Чтобы в ночные часы теплица не переохлаждалась, устраиваются тепловые аккумуляторы. В приведенном примере аккумулятирование тепла, полученного в дневные часы, осуществляется продуванием внутреннего нагретого воздуха через слой крупной гальки, расположенной под рабочим грунтом и служащей одновременно для него утеплителем. Нагретая за день, ночью галька отдает тепло циркулирующему воздуху, поддерживая повышенную температуру в теплице. При этом экономится полезная площадь теплицы, но приходится применять вентилятор для циркуляции воздуха.

Для небольших теплиц удобны галечные теплоаккумуляторы с естественным движением воздуха. Устройство его очень простое: внизу отрезка трубы большого диаметра устанавливается решетка



**Рис. 2.14** С

и опорные лапы, а внутрь засыпается галька. Днем, когда воздух в теплице теплее, чем галька, он движется сверху вниз слоя, постепенно нагревая его. Ночью, когда температура гальки становится выше, чем температура воздуха в теплице, поток в слое меняет направление и приносит аккумулированное за день тепло в помещение.

Определенным недостатком описанных теплиц является то, что в течение отопительного периода потребность в тепле постоянно уменьшается, а поступление солнечной энергии растет. При проектировании теплицы всегда предполагается покрытие тепловых потерь в наиболее неблагоприятных обстоятельствах и поэтому в летние месяцы температура в теплице может увеличиться до недопустимого уровня. Чтобы теплица не перегревалась, а также для поддержания оптимальной влажности и концентрации важных для развития растений углекислого газа и кислорода, устраивают вентиляцию теплицы естественным путем через открывающиеся окна на стенах. Открыванием того или иного числа окон регулируют интенсивность воздухообмена. Общая площадь вентиляционных окон должна составлять примерно 15 ... 18 % площади теплицы. В отдельных случаях застекленную боковую стенку затеняют снаружи циновками или специальными щитами.

Сушка как технологический процесс широко применяется во многих отраслях производства. Обычно для увеличения интенсивности испарения влаги высушиваемые материалы помещают в специальные сушилки, где циркулирует нагретый воздух. В сельском хозяйстве, деревообработке широко применяется сушка на свежем воздухе под открытым небом. Однако интенсивность и качество такой сушки невелики. Гораздо лучшие результаты может обеспечивать применение гелиосушилок, где сушка происходит в закрытом помещении.

Гелиосушилки могут быть прямого и косвенного действия. В первом случае солнечное излучение воспринимается непосредственно высушиваемым материалом. Здесь реализуется тот же принцип, что и в коллекторах солнечной энергии – проникая сквозь прозрачную стенку радиация воспринимается высушиваемым материалом, нагревая его и медленно циркулирующий в нем воздух и обеспечивая тем самым высокую скорость и качество сушки. Циркуляция воздуха осуществляется за счет естественной тяги, при этом испарившаяся влага выносится с воздухом в атмосферу.

В сушилках косвенного действия используется промежуточный теплоноситель (обычно воздух), который предварительно нагревается с помощью коллекторов солнечного излучения и аккумуляторов тепла, а затем направляется в сушильную камеру. Обычно такие сушильные агрегаты имеют и дополнительный источник тепла, обеспечивающий работу и во время резкого уменьшения или отсутствия солнечного излучения.

Для уменьшения тепловых потерь камерные сушилки обычно покрываются тепловой изоляцией. По принципу действия они могут быть с периодическим или непрерывным характером работы. В первом случае влажный материал обычно располагают на металлической решетке и через него продувается нагретый воздух. При высыхании материала до требуемой кондиции его вынимают и заменяют новой порцией. В сушилках непрерывного действия влажный материал попадает на движущуюся вдоль сушилки транспортную ленту. Продвигаясь вдоль сушилки, он теряет свою влагу и на выходе из сушилки получается непрерывный поток сухого материала. Длина и скорость движения такого конвейера подбираются так, чтобы за время пребывания материала в сушилке он приобретал необходимую кондицию. Часто такие сушилки имеют достаточно большую длину и их называют туннельными. В гелиосушилках крыша и южная стенка туннеля делаются из стекла или прозрачной пленки, что позволяет собирать лучистую энергию не только в коллекторах, но и самой сушилке.

## 2.7 Солнечные электростанции

Да здравствует солнце, да скроется тьма!

*А.С. Пушкин*

Для преобразования солнечной радиации в электрическую энергию в промышленных мас-

штабах служит модификация обычной тепловой электрической станции, работающей по циклу Ренкина, в которой вместо парового котла на органическом топливе для получения и перегрева водяного пара используются концентраторы солнечной энергии и вакуумные коллекторы солнечного излучения. Солнечные электрические станции (СЭС) содержат все обычные для тепловой электростанции агрегаты: турбину, электрогенератор, конденсатор, питательный насос, насосы охлаждающей воды и т.д. Здесь могут быть реализованы разные циклы: классический цикл Ренкина без перегрева пара и турбиной, работающей на влажном паре, с перегревом пара, с промежуточным перегревом пара и многоступенчатой турбиной, регенеративный цикл и др.

Конструктивно солнечные электростанции бывают двух типов: башенные и модульные. В первом случае имеется центральный приемник солнечных лучей внешнего или внутреннего облучения, устанавливаемый на специальной башне и воспринимающий сконцентрированные солнечные лучи, направляемые на него системой гелиостатов, располагаемых под башней и автоматически поворачивающихся вслед за Солнцем. Каждый такой гелиостат содержит сотни, а иногда и тысячи специально ориентированных зеркал, направляющих падающие на них солнечные лучи на поверхность центрального приемника. Гелиостаты устанавливаются с северной стороны башни или вокруг нее.

У центральных приемников внешнего облучения тепловоспринимающие панели расположены на наружной цилиндрической поверхности и полученное здесь тепло идет на выработку и перегрев пара, циркулирующего по трубкам вакуумных коллекторов. В приемниках полостного типа сконцентрированные лучи направляются внутрь теплоизолированного цилиндрического пространства, образованного трубами с селективной поверхностью, из которых и выполняются испарительная секция, пароперегреватель и экономайзер.

**1 – ГЕЛИОСТАТ; 2 – ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПРИЕМНИК; 3 – БАШНЯ; 4 – ОХЛАДИТЕЛЬ ПАРА, ПОДАВАЕМОГО НА ЗАРЯДКУ СИСТЕМЫ АККУМУЛИРОВАНИЯ; 5 – ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ НАГРЕВАТЕЛЬ ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРА; 6 – РАСШИРИТЕЛЬНЫЙ БАК; 7 – ТЕПЛОВОЙ АККУМУЛЯТОР; 8 – РЕГУЛИРУЕМЫЕ ВОДОПОДОГРЕВАТЕЛИ; 9 – ПАРОГЕНЕРАТОР СИСТЕМЫ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛА; 10 – ДЕАЭРАТОР; 11 – МНОГОСТУПЕНЧАТАЯ ПАРОВАЯ ТУРБИНА; 12 – ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОР; 13 – КОНДЕНСАТОР**

На рис. 2.15 приведена принципиальная схема СЭС башенного типа с центральным теплоприемником внешнего облучения. Большая часть пара, вырабатываемого в центральном приемнике, заменяющем собой паровой котел, направляется в многоступенчатую турбину, а избыток его – в систему аккумулярования. Здесь он через специальный теплообменник отдает свое тепло теплоаккумулирующему телу (гравий с песком и минеральное масло). Образовавшийся конденсат через

расширительный бак попадает в деаэрактор, а оттуда насосом подается снова в центральный приемник. При номинальной мощности 10 МВт тепловой аккумулятор такой станции содержит 4 тыс. т гравия и песка и 900 тыс. л термостойкого масла. Отработанный пар из промежуточных ступеней турбины направляется в экономайзеры, где нагревает эту питательную воду. В ночное время в работу включается парогенератор системы аккумулярования и тогда конденсат из конденсатора и экономайзеров направляется для питания этого парогенератора.

На рис. 2.16 приведена схема центрального приемника солнечной радиации полостного типа.

Одной из отличительных особенностей СЭС является обязательное применение аккумуляторов тепловой или электрической энергии, что обеспечивает непрерывное функционирование станции в ночное время или в непогоду.

Солнечные электростанции модульного типа состоят из большого числа включаемых параллельно или последовательно однопольных модулей, представляющих собой концентраторы параболической формы, в трубках которых испаряется и перегревается рабочее тело, а образующийся пар направляется затем в турбину. У таких СЭС система автоматического слежения за положением

Солнца более простая, они компактнее, чем башенные СЭС. Такие станции могут обеспечивать мощности до 10 МВт.

Ниже в табл. 2.2 и 2.3 приведены технические характеристики ряда действующих солнечных электростанций башенного и модульного типов.





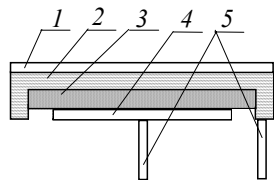
## 2.8 Фотоэлектрические преобразователи

Смело верь тому, что вечно  
Безначально, бесконечно...

*М.Ю. Лермонтов*

Энергия солнечной радиации может быть преобразована в постоянный электрический ток посредством солнечных батарей – устройств, состоящих из тонких (примерно 50 мкм) пленок кремния или других полупроводниковых материалов и реализующих так называемый фотоэффект. Суть этого физического явления состоит в том, что при попадании электромагнитного излучения (в нашем случае световых и инфракрасных волн) на полупроводниковый материал с  $p-n$  проводимостью в нем поглощаются фотоны и возникает ЭДС, способная стать источником тока для любых внешних нагрузок.

Преимущество фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) обусловлено отсутствием подвижных



**Рис. 2.18** Схема элемента ФЭП:

1 – пленка диоксида кремния;

2 – кремний с *p*-проводимостью, последние 25 лет, приведенная на рис. 2.17 [11].

частей, их высокой надежностью и стабильностью. При этом срок их службы практически не ограничен. Они имеют малую массу, отличаются простотой обслуживания, эффективным использованием как прямой, так и рассеянной солнечной радиации. Модульный тип конструкций позволяет создавать установки практически любой мощности и делает их весьма перспективными. Недостатками ФЭП являются высокая стоимость и сравнительно низкий КПД. Однако интенсивные исследования в этой области внушают обоснованную надежду, что в ближайшем будущем электрическая эффективность ФЭП будет заметно повышена и даже превысит КПД тепловых электростанций.

В этом убеждает нас динамика повышения эффективности ФЭП за последние 25 лет, приведенная на рис. 2.17 [11].

Фотоэлектрические преобразователи имеют очень простую конструкцию и состоят из двух тонких пластинок кремния или германия (рис. 2.18). В чистом виде это диэлектрики. Но при добавлении отдельных примесей они приобретают свойства полупроводников с дырочной (*n-p* переход) или электронной (*p-n* переход) проводимостью. В результате взаимодиффузии между пластинами возникает слой с *p-n* проводимостью. Сверху эти пластинки покрываются прозрачной пленкой диоксида кремния. На наружных сторонах пластинок устанавливаются электрические контакты для снятия ЭДС. Элементы ФЭП соединяются в стандартные модули, из которых монтируются солнечные батареи любой мощности и конфигурации.

За 40 лет промышленного использования солнечные батареи доказали свою незаменимость, высокую надежность и долговечность для энергоснабжения объектов, находящихся вдали от традиционных источников энергии, включая и работу на космических аппаратах несмотря на их высокую первоначальную стоимость, что не всегда является определяющим фактором и с чем мы вынуждены смириться в определенных обстоятельствах. По мере совершенствования солнечных батарей они будут находить применение в жилых домах для автономного энергоснабжения, т.е. отопления и горячего водоснабжения, а также для выработки электроэнергии для освещения и питания различных бытовых электроприборов.

В табл. 2.4 приведены данные о суммарных мощностях ФЭП в разных странах мира, а в табл. 2.5 – сведения о солнечных автономных системах электропитания, выпускаемых в нашей стране. Обе таблицы еще раз убеждают: за этим направлением солнечной энергетики большое будущее.

#### 2.4 МОЩНОСТЬ ФЭП В СТРАНАХ МИРА НА НАЧАЛО 1999 Г.

Страна	Мощность, кВт	Страна	Мощность, кВт
Австралия	22 520	США	100 101
Австрия	2861	Франция	8000
Англия	690	Финляндия	2476
Германия	53 900	Швеция	2370
Дания	505	Швейцария	11 500
Испания	8000	Япония	13 3300
Италия	17 680	Всего в мире	392 281
Мексика	11 986		

#### 2.5 Российские солнечные автономные системы электропитания

Модель	Состав	Цена, \$

		USA
СЭУ-50	Солнечная батарея 50 Вт Регулятор заряда, комплект кабелей, опорное устройство	310
СЭУ-100	Аккумуляторная батарея емкостью 55 А · ч Солнечная батарея 100 Вт <b>РЕГУЛЯТОР ЗАРЯДА, КОМПЛЕКТ КАБЕЛЕЙ, ОПОРНОЕ УСТРОЙСТВО</b>	610
СЭУ-100	Аккумуляторная батарея емкостью 110 А · ч Солнечная батарея 250 Вт <b>РЕГУЛЯТОР ЗАРЯДА, КОМПЛЕКТ КАБЕЛЕЙ, ОПОРНОЕ УСТРОЙСТВО</b>	1780
СЭУ-100	Аккумуляторная батарея емкостью 220 А · ч Инвертор 400 Вт Солнечная батарея 500 Вт <b>РЕГУЛЯТОР ЗАРЯДА, КОМПЛЕКТ КАБЕЛЕЙ, ОПОРНОЕ УСТРОЙСТВО</b>	3600
СЭУ-100	Аккумуляторная батарея емкостью 550 А · ч Инвертор 750 Вт Солнечная батарея 1000 Вт	9800
СЭУ-100	Регулятор заряда, комплект кабелей, опорное устройство Аккумуляторная батарея емкостью 1100 А · ч Инвертор 24/220 Вт, 50 Гц, 1 кВт Солнечная батарея 1500 Вт <b>РЕГУЛЯТОР ЗАРЯДА, КОМПЛЕКТ КАБЕЛЕЙ, ОПОРНОЕ УСТРОЙСТВО</b>	13 100
СЭУ-100	Аккумуляторная батарея емкостью 1400 А · ч Инвертор 24/220 Вт, 50 Гц, 1,5 кВт Солнечная батарея 2000 Вт Регулятор заряда, комплект кабелей, опорное устройство Аккумуляторная батарея емкостью 2200 А · ч Инвертор 24/220 Вт, 50 Гц, 2 кВт	

Энергия движущихся воздушных масс, энергия ветра огромна, она более чем в 100 раз превышает запасы гидроэнергии всех рек. Постоянно и всюду дуют на земле ветры (от еле заметного лишь по шелесту листьев до могучего урагана) и они могли бы легко удовлетворить все наши потребности в электроэнергии. Однако на сегодня ветроэлектростанции вырабатывают только 0,001 часть расходуемой в мире энергии, хотя человечество с древних времен училось и умело использовать для своей пользы энергию ветра: под парусами, наполненными ветром, были совершены великие географические открытия, ветер молот зерно и качал воду, помогал добывать руду и развивал победные флаги на башнях.

Нынешняя ветроэнергетика решает несколько другую задачу – нужно эффективно преобразовать энергию ветра в электрическую энергию. Появилось множество проектов и отработанных конструкций ветроустановок, несравнимо более совершенных, чем ветряные мельницы прошлых столетий. Все это делает ветроэнергетику более конкурентоспособной и перспективной, особенно в тех местах (например, побережье Северного Ледовитого океана), где ветры дуют регулярно, а тепловая энергетика невыгодна из-за огромной стоимости доставки топлива.

Энергия ветра относится к числу постоянно возобновляемых, обязанных своим происхождением деятельности Солнца. Вследствие неравного нагрева солнечными лучами земной поверхности и нижних слоев земной атмосферы, в приземном слое, а также на высотах от 7 до 12 км возникают перемещения больших масс воздуха, т.е. рождается ветер.

Мощность воздушного потока зависит от скорости и направления движения, продолжительности ветреной погоды, характера изменения скорости ветра во времени, площади сечения движущихся струй воздуха. На эти характеристики влияют метеоусловия, рельеф местности, период суток и года. Так что все это делает мощность потока непредсказуемой и заранее определить скорость и направление ветра не представляется возможным. Тем не менее среднестатистические характеристики для отдельных территорий и каждого периода времени остаются стабильными, что позволяет оценивать ветроэнергетические ресурсы и принимать обоснованные решения для выбора места для возведения ветроэнергетической установки и ее оптимальной мощности.

Для использования энергии ветра применяются специальные ветродвигатели, которые включаются в состав ветроэнергетических агрегатов или ветроэнергетических установок. Ветродвигатель преобразует энергию ветра в механическую энергию. Совокупность ветродвигателя и некоего технологического устройства (насос, подъемник, мельница) и представляет собой ветроагрегат. Ветроэнергетическая установка включает в себя ряд специальных устройств, призванных обеспечить ее бесперебойную работу в период безветрия или изменения силы и направления ветра. Это прежде всего аккумулятор энергии, система автоматического регулирования ориентации ветродвигателя, резервный двигатель и т.п. Широкое применение здесь нашли электрические аккумуляторы, а также гидроаккумулирующие электростанции. В последнем случае избыток вырабатываемой ветрогенератором энергии отдается на эту станцию и ее гидротурбина работает в режиме подающего насоса, повышая уровень воды в бассейне – аккумуляторе. В нужный момент вода из этого бассейна подается снова на турбину и там вырабатывается электрическая энергия для покрытия дефицита.

Удельная кинетическая энергия потока воздуха объемом в  $1 \text{ м}^3$ , движущегося со скоростью  $w$ , определяется его плотностью  $\rho$

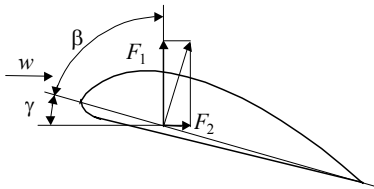
$$E = \rho w^2 / 2,$$

а мощность ветрового потока, проходящего через площадь  $F$ , будет

$$N = EwF = \rho w^3 F / 2,$$

**Т.Е. ПРОПОРЦИОНАЛЬНА КУБУ СКОРОСТИ ВЕТРА.**

ОТНОШЕНИЕ МОЩНОСТИ, РАЗВИВАЕМОЙ РОТОРОМ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ, К МОЩНОСТИ ВЕТРОВОГО ПОТОКА НАЗЫВАЮТ КОЭФФИЦИЕНТОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ  $\varepsilon_{ТВ}$ :



$$\varepsilon_{ТВ} = \frac{4N_{ТВ}}{0,5\rho w^3 \pi D^4},$$

РИС. 3.2 СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ

ГДЕ  $D$  – ДИАМЕТР РОТОРА ВЕТРОВОЙ ТУРБИНЫ. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЭТОГО КОЭФФИЦИЕНТА РАВНО 0,593. В РЕАЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ОН НЕ

ПРЕВЫШАЕТ И 0,45. НА РИС. 3.1 НА ПРИМЕРЕ ВЕТРОВОЙ ТУРБИНЫ МОЩНОСТЬЮ 2 МВТ ПОКАЗАНА ЗАВИСИМОСТЬ МОЩНОСТИ  $N_{ТВ}$  И КОЭФФИЦИЕНТА  $\varepsilon_{ТВ}$  ОТ СКОРОСТИ ВЕТРА. ИЗ РИСУНКА ВИДНО, ЧТО МОЩНОСТЬ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ СНАЧАЛА РЕЗКО УВЕЛИЧИВАЕТСЯ С РОСТОМ СКОРОСТИ ВЕТРА, НО ЗАТЕМ НАСТУПАЕТ СТАБИЛИЗАЦИЯ, ПРИ КОТОРОЙ ЭТО ВЛИЯНИЕ СТАНОВИТСЯ НЕОЩУТИМЫМ. ВЕЛИЧИНА  $\varepsilon_{ТВ}$  ТОЖЕ ЗАМЕТНО ИЗМЕНЯЕТСЯ, ДОСТИГАЯ МАКСИМУМА ( $\varepsilon_{ТВ} = 0,44$ ) ПРИ СКОРОСТИ ОКОЛО 10 М/С И СНОВА СНИЖАЯСЬ ДО  $\varepsilon_{ТВ} = 0,12$  ПРИ СКОРОСТИ  $W = 20$  М/С.

КАК ЭТО ВИДНО ИЗ ПРИВЕДЕННОЙ ФОРМУЛЫ, ДЛЯ ТУРБИН БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ, ЧТОБЫ УВЕЛИЧИТЬ ПЛОЩАДЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ВЕТРОВОГО ПОТОКА  $F$ , ПРИХОДИТСЯ ПРИМЕНЯТЬ РОТОРЫ С БОЛЬШЕЙ ДЛИНОЙ ЛОПАСТЕЙ  $L$ , ТАК КАК  $D = 2L$ . ДИАМЕТР КОЛЕСА МОЩНЫХ ВЕТРОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК ДОХОДИТ ДО 80 ... 90 М, И ОНИ УСТАНОВЛИВАЮТСЯ НА СПЕЦИАЛЬНЫЕ БАШНИ ВЫСОТОЙ ДО 85 М. ОПТИМАЛЬНЫМ СЧИТАЮТСЯ ДИАМЕТРЫ ПРИМЕРНО В 50 ... 60 М.

ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В МЕХАНИЧЕСКУЮ РАБОТУ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ВЕТРОВЫЕ ТУРБИНЫ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ЛОПАСТИ ТАКОЙ ТУРБИНЫ ОБЫЧНО ИМЕЮТ ФОРМУ КРЫЛА И ОБТЕКАЮТСЯ ВСТРЕЧНЫМ ПОТОКОМ ВОЗДУХА

(РИС. 3.2). НА ИХ ПЕРЕДНЕЙ (НИЖНЕЙ НА РИС. 3.2) ПОВЕРХНОСТИ ВОЗНИКАЕТ ИЗБЫТОЧНОЕ ДАВЛЕНИЕ, А НА ЗАДНЕЙ (ВЕРХНЕЙ ПО РИС. 3.2) – РАЗРЯЖЕНИЕ. В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗНИКАЕТ СИЛА, ОДНА СОСТАВЛЯЮЩАЯ КОТОРОЙ ДАВИТ НА ОПОРУ ТУРБИНЫ (ЛОБОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ  $F_2$ ), А ДРУГАЯ – ( $F_1$ ) ЗАСТАВЛЯЕТ ЛОПАСТЬ ВРАЩАТЬСЯ. УГОЛ  $\beta$  МЕЖДУ ХОРДОЙ И НАПРАВЛЕНИЕМ ДВИЖЕНИЯ ЛОПАСТИ НАЗЫВАЕТСЯ УГЛОМ УСТАНОВКИ, А УГОЛ  $\gamma$  МЕЖДУ ХОРДОЙ И НАПРАВЛЕНИЕМ ВЕТРА – УГЛОМ АТАКИ. ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОФИЛЯ ЛОПАСТИ СТРЕМЯТСЯ ПОДОБРАТЬ ЭТИ УГЛЫ ТАК, ЧТОБЫ СИЛА  $F_1$  БЫЛА НАИБОЛЬШЕЙ, А СИЛА  $F_2$  – ПО ВОЗМОЖНОСТИ МИНИМАЛЬНОЙ. ПРИ ФИКСИРОВАННОМ УГЛЕ УСТАНОВКИ  $\beta$  УГОЛ АТАКИ  $\gamma$  ЗАВИСИТ И ОТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛОПАСТИ И ПОЭТОМУ НА РАЗНЫХ УЧАСТКАХ ПРЯМОЙ ЛОПАСТИ ОКАЗЫВАЕТСЯ РАЗНЫМ. ПОЭТОМУ, ЧТОБЫ ВЫДЕРЖАТЬ ОПТИМАЛЬНЫЙ УГОЛ АТАКИ, ПРИБЕГАЮТ К ЗАКРУТКЕ ЛОПАСТИ ПО ЕЕ ДЛИНЕ. НА СОВРЕМЕННЫХ УСТАНОВКАХ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ОБЕСПЕЧИВАЕТСЯ ПОВОРОТ ЛОПАСТИ И УСТАНОВКА ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА АТАКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ВЕТРА.

ВАЖНЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ВЕТРОВОЙ ТУРБИНЫ ЯВЛЯЕТСЯ ЕЕ КОЭФФИЦИЕНТ БЫСТРОХОДНОСТИ  $Z$

$$Z = R \omega / W,$$

ГДЕ  $R$  – РАДИУС ОКРУЖНОСТИ, ОМЕТАЕМОЙ РОТОРОМ;  $\omega$  – УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ;  $W$  – СКОРОСТЬ ВЕТРА. ВЕТРОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ИМЕЮТ СУЩЕСТВЕННО РАЗЛИЧНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА  $\varepsilon_{ТВ}$  ОТ ВЕЛИЧИНЫ  $Z$ . НАИЛУЧШИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИМЕЕТ ДВУХЛОПАСТНОЙ СКОРОСТНОЙ РОТОР, НАИХУДШИЕ – МНОГОЛОПАСТНОЙ РОТОР (РИС. 3.3, ГДЕ ПОКАЗАНЫ СХЕМЫ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ РОТОРОВ).

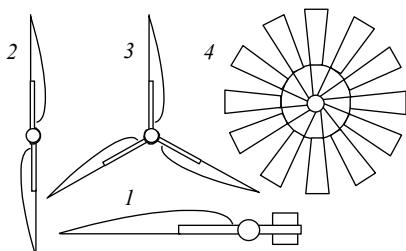


РИС. 3.3 КОНСТРУКЦИИ ОСНОВНЫХ ТИПОВ РОТОРОВ

ОБЫЧНО ВЕТРОВЫЕ ТУРБИНЫ ИМЕЮТ ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ ОСЬ, РАСПОЛОЖЕНИЕ ЖЕ РОТОРОВ МОЖЕТ БЫТЬ КАК СПЕРЕДИ, ТАК И СЗАДИ КОРПУСА. В ПЕР-

ВОМ СЛУЧАЕ В ХВОСТОВОЙ ЧАСТИ ТУРБИНЫ УСТАНОВЛИВАЕТСЯ ДОСТАТОЧНО КРУПНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР, КОТОРЫЙ УСТАНОВЛИВАЕТ ВЕТРОДВИГАТЕЛЬ ТАК, ЧТО ПРИ ЛЮБОМ НАПРАВЛЕНИИ ВЕТРА ПЛОСКОСТЬ ВРАЩЕНИЯ ЛОПАСТЕЙ РОТОРА ПЕРПЕНДИКУЛЯРНА ПОТОКУ. ВО ВТОРОМ СЛУЧАЕ ТУРБИНА САМА НАСТРАИВАЕТСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ВЕТРА И СТАБИЛИЗАТОР ОБЫЧНО НЕ ТРЕБУЕТСЯ. ЧТОБЫ УМЕНЬШИТЬ ВЕТРОВУЮ НАГРУЗКУ НА БАШНЮ, НА КРУПНЫХ УСТАНОВКАХ ПОЛОЖЕНИЕ ОСИ ТУРБИНЫ УСТАНОВЛИВАЕТСЯ С ПОМОЩЬЮ СЛЕДЯЩИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИВОДОМ ОТ РЕВЕРСИВНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ (РИС. 3.4).

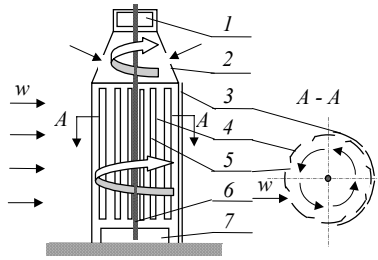


РИС. 3.6 СХЕМА ВИХРЕВОГО ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ:  
1 – ТУРБИНА; 2 – ВЕРХНЯЯ

СУЩЕСТВУЮТ ВЕТРОДВИГАТЕЛИ И С ВЕРТИКАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ОСИ ВРАЩЕНИЯ. ПРЕЖДЕ ВСЕГО ЭТО ДВИГАТЕЛЬ ФРАНЦУЗСКОГО ИЗОБРЕТАТЕЛЯ ДАРЬЕ. НА ВЕРТИКАЛЬНОМ ВАЛУ ТАКОЙ ТУРБИНЫ НАХОДИТСЯ АЛЮМИНИЕВОЕ УДЛИНЕННОЕ КОЛЬЦО ШИРИНОЙ 5 м и ДИАМЕТРОМ 27 м, КОТОРОЕ И СЛУЖИТ ЛОПАСТЬЮ. ДЛИННАЯ ОСЬ УДЕРЖИВАЕТСЯ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПОЛОЖЕНИИ СВЕРХУ КАНАТНЫМИ РАСТЯЖКАМИ, А ВНИЗУ – ПРОЧНО ЗАКРЕПЛЕННЫМ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОМ. ТАКАЯ УСТАНОВКА НЕ НУЖДАЕТСЯ В БАШНЕ, НЕ ТРЕБУЕТСЯ ЗДЕСЬ И СТАБИЛИЗАТОР, ПОСКОЛЬКУ ЛОПАСТИ ТУРБИНЫ ХОРОШО ВОСПРИНИМАЮТ ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЕТРА ИЗ ЛЮБОГО НАПРАВЛЕНИЯ. ДЛЯ ЗАПУСКА ТАКОГО ДВИГАТЕЛЯ ЕГО ТРЕБУЕТСЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО РАСКРУТИТЬ, ИБО ТОЛЬКО ТОГДА СИЛА ПО НАПРАВЛЕНИЮ ВРАЩЕНИЯ СТАНОВИТСЯ БОЛЬШЕ СИЛЫ, ПРИЛОЖЕННОЙ К ПРОТИВОПОЛОЖНОЙ ЛОПАСТИ. В НЕПОДВИЖНОМ СОСТОЯНИИ ЭТИ СИЛЫ ОДИНАКОВЫ И НЕ МОГУТ СТРОНУТЬ ВАЛ С МЕСТА. СХЕМА ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ ДАРЬЕ ПРИВЕДЕНА НА РИС. 3.5. МОЩНОСТЬ ОПИСАННОГО АГРЕГАТА СОСТАВЛЯЕТ 100 КВТ.

ВЕРТИКАЛЬНУЮ ОСЬ ВРАЩЕНИЯ ИМЕЕТ И ВИХРЕВОЙ ВЕТРОДВИГАТЕЛЬ, КОТОРЫЙ СОСТОИТ ИЗ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ БАШНИ С ВЕРХНЕЙ КОНИЧЕСКОЙ НАСАДКОЙ И РАСПОЛОЖЕННОЙ ВНУТРИ ЦИЛИНДРА ТУРБИНЫ (РИС. 3.6). НА ПОВЕРХНОСТИ БАШНИ СДЕЛАНЫ ПРОДОЛЬНЫЕ ЩЕЛЕВЫЕ ВЫРЕЗЫ, КАЖДЫЙ ИЗ КОТОРЫХ СНАБЖЕН СПЕЦИАЛЬНОЙ СТВОРКОЙ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ ПРИКРЫТЬ ИЛИ ПОЛНОСТЬЮ ЗАКРЫТЬ ЕГО. ПРИ РАБОТЕ ДВИГАТЕЛЯ ОТКРЫВАЮТ СТВОРКИ ТОЛЬКО СО СТОРОНЫ НАБЕГАЮЩЕГО ПОТОКА. ВЫРЕЗЫ НАПРАВЛЯЮТ ПОТОК ВОЗДУХА ТАНГЕНЦИАЛЬНО ОСИ БАШНИ, ТАК ЧТО ПОПАДАЯ ВНУТРЬ, ВОЗДУХ НАЧИНАЕТ ВРАЩАТЬСЯ И ОБРАЗУЕТ ВИХРЬ. ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СИЛЫ ВОЗДУХ ОТЖИМАЕТСЯ К СТЕНКЕ БАШНИ, А В ЦЕНТРЕ ВИХРЯ СОЗДАЕТСЯ РАЗРЯЖЕНИЕ. ВХОДЯ В КОНИЧЕСКУЮ НАСАДКУ, ГДЕ РАДИУС КРИВИЗНЫ ПОСТОЯННО УМЕНЬШАЕТСЯ, ВОЗДУХ ЕЩЕ БОЛЬШЕ УВЕЛИЧИВАЕТ СВОЮ СКОРОСТЬ. В РЕЗУЛЬТАТЕ В ЦЕНТРЕ ПОТОКА РАЗРЯЖЕНИЕ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ И ЧЕРЕЗ ОКНА В КОНИЧЕСКОЙ НАСАДКЕ СЮДА ДОПОЛНИТЕЛЬНО ЗАСАСЫВАЕТСЯ НАРУЖНЫЙ ВОЗДУХ. ЭТОТ ПОТОК НАПРАВЛЯЕТСЯ НА ЛОПАСТИ ТУРБИНЫ, ГДЕ ЕГО КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ПРЕОБРАЗУЕТСЯ В МЕХАНИЧЕСКУЮ РАБОТУ И ДАЛЕЕ – В ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.

**ВИХРЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ ОКАЗАЛИСЬ ДОСТАТОЧНО ПРОСТЫМИ И НАДЕЖНЫМИ ПО КОНСТРУКЦИИ. ОНИ НЕ НУЖДАЮТСЯ В СПЕЦИАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ БАШНИ ОТНОСИТЕЛЬНО НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА, УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ СТВороК МОЖЕТ БЫТЬ ЛЕГКО АВТОМАТИЗИРОВАНО. ИЗВЕСТЕН ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕВОГО ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ НА МОРСКОМ СУДНЕ В КАЧЕСТВЕ СИЛОВОГО АГРЕГАТА. ПРИ ЭТОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ КОРПУС ДВИГАТЕЛЯ ВЫПОЛНЯЕТ ОДНОВРЕМЕННО И**

**3.1 УСТАНОВЛЕННЫЕ  
МОЩНОСТИ ВЕТРО-  
СТАНЦИЙ**

Страна	$N$ , МВт
Бельгия	7
Великобритания	145
Германия	320
Греция	35
Дания	520
Индия	100

**РОЛЬ ПАРУСА. В ШТОРМОВУЮ ПОГОДУ ИЛИ ПРИ УРАГАНАХ ОТКРЫВАЮТ ВСЕ СТВороК, И СИЛОВОЕ ДАВЛЕНИЕ НА БАШНЮ ОКАЗЫВАЕТСЯ МИНИМАЛЬНЫМ.**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК СЧИТАЕТСЯ ЭКОНОМИЧЕСКИ ВЫГОДНЫМ И ОПРАВДАНЫМ ПРИ СРЕДНЕГОДОВОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА  $W \geq 5$  М/С. РАЙОНЫ СО СРЕДНЕГОДОВОЙ СКОРОСТЬЮ БОЛЕЕ 6 М/С ЯВЛЯЮТСЯ ОСОБО БЛАГОПРИЯТНЫМИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕТРОСТАНЦИЙ. НА СЛЕДУЮЩЕЙ СТРАНИЦЕ ПРИВЕДЕН ВЕТРОВОЙ КАДАСТР РОССИИ И НЕКОТОРЫХ СОСЕДНИХ СТРАН**

**(РИС. 3.7), НАГЛЯДНО ДЕМОНСТРИРУЮЩИЙ ВЕТРОВОЙ РЕЖИМ ОТДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ. В ТАБЛ. 3.1 ПРИВЕДЕНЫ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ВЕТРОСТАНЦИЙ ПО ОТДЕЛЬНЫМ СТРАНАМ, А В ТАБЛ. 3.2 ДАЮТСЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ**

**СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПРОМЫШЛЕННО ВЫПУСКАЕМЫХ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ.**



#### 4.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

**ГДЕ ОТСУТСТВУЕТ ТОЧНОЕ ЗНАНИЕ, ТАМ ДЕЙСТВУЮТ ДОГАДКИ, А ИЗ ДЕСЯТИ ДОГАДОК ДЕВЯТЬ – ОШИБКИ.**

**М. ГОРЬКИЙ**

**АК ПРИНЯТО НАЗЫВАТЬ ТЕПЛОВУЮ ЭНЕРГИЮ ЗЕМНОЙ КОРЫ. ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В НЕДРАХ ЗЕМЛИ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ СОВОКУПНОСТЬЮ РЯДА ПРОИСХОДЯЩИХ ТАМ ПРОЦЕССОВ: РАДИОАКТИВНЫЙ РАСПАД ЭЛЕМЕНТОВ, ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ, ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРИТЯЖЕНИЯ СОЛНЦА И ЛУНЫ, ГРАВИТАЦИОННАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ЗЕМЛИ И ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ СМЕЩЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ КРУПНЫХ БЛОКОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ. В РЕЗУЛЬТАТЕ В ЦЕНТРЕ ЗЕМЛИ ТЕМПЕРАТУРА ДОСТИГАЕТ 4000 ... 5000 К, А В МАГМАТИЧЕСКИХ СЛОЯХ СРАВНИТЕЛЬНО БЛИЗКИХ К ПОВЕРХНОСТИ 1200 ... 1500 К. ОТСЮДА ТЕПЛОТА ВЫНОСИТСЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ ПОДВИЖНЫМ ФЛЮИДОМ (ЭТО СМЕСЬ ВОДЫ, ПАРА, ГАЗОВ), КОТОРЫЙ ДВИЖЕТСЯ ПО КАПИЛЛЯРАМ И ТРЕЩИНАМ ГОРНЫХ ПОРОД. ВОДА, КАК ПРАВИЛО, НАСЫЩЕНА РАСТВОРЕННЫМИ В НЕЙ СОЛЯМИ И ГАЗАМИ.**

**НАИБОЛЕЕ ГРАНДИОЗНОЕ ПОЯВЛЕНИЕ ТЕПЛА НА ЗЕМЛЕ – ЭТО, РАЗУМЕЕТСЯ, ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. ОНА НЕ РАЗ ПРИВОДИЛА К ТАКИМ КАТАСТРОФАМ ВСЕЛЕНСКОГО МАСШТАБА, КОТОРЫЕ МЕНЯЛИ И ОБЛИК МАТЕРИКОВ, И КЛИМАТ ПЛАНЕТЫ. КОНЕЧНО ЖЕ, ГОВОРИТЬ О НЕПОСРЕДСТВЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭТОЙ ЭНЕРГИИ НЕ ПРИХОДИТСЯ, НО ПРОЯВЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ, ТАЯЩЕЙСЯ В НЕДРАХ ЗЕМЛИ В ВИДЕ ГОРЯЧИХ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ, ИЗВЕСТНО И ИСПОЛЬЗУЕТСЯ СРАВНИТЕЛЬНО ДАВНО И ЭФФЕКТИВНО.**

Как это ни кажется странным, но в настоящее время вулканические аппараты Земли не являются основными тепловыделяющими каналами. Во-первых, несмотря на высокую температуру потоков лавы, все же их масса крайне ничтожна по сравнению с массой горных пород земной коры, которые также служат проводниками глубинного тепла. Во-вторых, в земной коре существует подвижный и чрезвычайно теплоемкий энергоноситель – вода, играющая важную роль в тепловом балансе верхних геосфер.

Жидкая вода существует только до глубины 10 ... 15 километров, ниже при температуре около 700 градусов вода находится исключительно в газообразном состоянии. На глубине 50 ... 60 километров при давлении около 30 000 атмосфер исчезает граница фазовости, т.е. водяной пар находится в сверхкритическом перегретом состоянии и уже не может превратиться в жидкость.

Находясь в поровом пространстве осадочных пород, вода, как правило, принимает температуру, соответствующую температуре пород на данной глубине. Если вода занимает трещинно-жильные коллекторы и поднимается из более глубоких горизонтов, то возможен вариант, когда, наоборот, породы принимают более высокую температуру воды. Так возникают местные тепловые аномалии. Вода в данном случае выполняет роль теплоносителя и нагревающего элемента.

В любой точке земной поверхности, на определенной глубине, зависящей от географических особенностей района, залегают пласты горных пород, содержащие термальные воды (гидротермы). В связи с этим в земной коре следует выделить еще одну зону, условно называемую «гидротермальной оболочкой». Она прослеживается по всему земному шару, только на разной глубине. В среднем в пределах этой зоны температурный градиент по глубине составляет 30 К/км. В районах современного вулканизма гидротермальная оболочка иногда выходит практически на поверхность и температурный градиент достигает значения 200 К/км. Здесь можно обнаружить не только горячие источники, кипящие грифоны и гейзеры, но и парогазовые струи с температурой 180 ... 200 градусов и выше. Геотермальные системы, у которых основным теплоносителем является вода или пар, называют гидротермальными.

У петротермальных геосистем носителем тепла являются сухие горные породы. Для извлечения тепла бурят две скважины. В одну из них закачивают с поверхности воду. Вода, проходя сквозь трещины и поры массива, нагревается до нужной температуры или даже превращается в пар, которые со-

бираются в другом конце «коридора» и по другой трубе подаются на поверхность потребителю. Эта простейшая схема подземного теплообмена оказывается очень сложной в наладке режимов и не может обеспечивать стабильных характеристик теплоносителя на выходе, поскольку с течением времени значительно изменяются и структура, и свойства проводящего воду массива, и интенсивность теплообмена в нем. Поэтому освоение петротермальных ресурсов затруднительно, хотя большая доля тепла Земли сосредоточена именно в них.

**ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ НАХОДИТ ШИРОКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ОБОГРЕВА ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ И ТЕПЛИЦ, В ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЛЕЧЕБНЫХ ЦЕЛЯХ. СТОЛИЦА ИСЛАНДИИ РЕЙКЬЯВИК, В КОТОРОЙ ПРОЖИВАЕТ ПОЛОВИНА ЖИТЕЛЕЙ ЭТОЙ МАЛЕНЬКОЙ СЕВЕРНОЙ «СТРАНЫ ЛЬДОВ», ОТАПЛИВАЕТСЯ ТОЛЬКО ЗА СЧЕТ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ. В США УСПЕШНО РАБОТАЕТ ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ СТАНЦИЯ НА 500 ТЫС. КВТ, НЕДАВНО В НАШЕЙ СТРАНЕ, НА КАМЧАТКЕ, БЫЛА ПУЩЕНА НОВАЯ ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ. ПРАКТИКА ПОКАЗАЛА, ЧТО ТЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРУДНОСТИ, С КОТОРЫМИ СВЯЗАНО ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТАКИХ СТАНЦИЙ, ВПОЛНЕ ПРЕОДОЛИМЫ, А ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИХ ДОСТАТОЧНО ВЫСОКИЕ. ЕДИНСТВЕННОЕ ПРЕПЯТСТВИЕ ДЛЯ САМОГО ШИРОКОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТАКИХ СТАНЦИЙ – ИСТОЧНИКИ С ДОСТАТОЧНО БОЛЬШИМ ДЕБИТОМ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ ИЛИ ПАРА ВСТРЕЧАЮТСЯ ДОСТАТОЧНО РЕДКО.**

**НИЖЕ В ТАБЛ. 4.1 ПРИВЕДЕНЫ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ЗАПАСЫ ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ РОССИИ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ПЕРВООЧЕРЕДНОГО ОСВОЕНИЯ С МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ МЕНЕЕ 10 Г/Л И ТЕМПЕРАТУРОЙ БОЛЕЕ 50 °С.**

**4.1 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ЗАПАСЫ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ РОССИИ**

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЙОН	СПОСОБЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ	
	ФОНТАННЫЙ, 10 <sup>6</sup> ГДЖ/ГОД	НАСОСНЫЙ, 10 <sup>6</sup> ГДЖ/ГОД
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ	9,21	50,2
ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ	4,6	11,3
ЗАБАЙКАЛЬЕ	4,6	2,1
САХАЛИНСКАЯ ОБЛАСТЬ	44,8	–
КАМЧАТСКАЯ ОБЛАСТЬ		

**С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ РАСПОЛАГАЕМЫХ РЕСУРСОВ СУЩЕСТВУЮТ ДВА ТИПА ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ: ВОДОДОМИНИРУЮЩИЕ И ПАРОДОМИНИРУЮЩИЕ, ТАК ЧТО ГЕОТЕРМАЛЬНУЮ СИСТЕМУ МОЖНО РАССМАТРИВАТЬ КАК ВОДОГРЕЙНЫЙ ИЛИ ПАРОВОЙ КОТЕЛ, РАБОТАЮЩИЙ НА ТЕПЛЕ ЗЕМЛИ. ОДНАКО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭТОГО ТЕПЛА ПРИХОДИТСЯ УЧИТЫВАТЬ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧАЕМЫХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ.**

#### 4.2 Геоэлектростанции

Наука открывает необозримое поле деятельности, и никогда уже нельзя будет сказать, что все уже открыто.

*Академик М.В. Келдыш*

**ВИД ФЛЮИДА, ВЫВОДИМОГО НА ПОВЕРХНОСТЬ ИЗ ЗЕМНЫХ НЕДР, ВО МНОГОМ ОПРЕДЕЛЯЕТ ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И КОНСТРУК-**

ТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПАРСИЛОВЫХ УСТАНОВОК. НАИБОЛЕЕ БЛАГОПРИЯТНЫМИ, КОНЕЧНО ЖЕ, ЯВЛЯЮТСЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ С СУХИМ ПЕРЕГРЕТЫМ ПАРОМ, ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ, ПРАВДА, ДОСТАТОЧНО РЕДКО. В ЭТОМ СЛУЧАЕ ПАР ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРАВЛЯЕТСЯ В СЕПАРАТОР, ГДЕ ОЧИЩАЕТСЯ ОТ ТВЕРДЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ, А УЖ ЗАТЕМ ПОДАЕТСЯ В ТУРБИНУ. ДАЛЕЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ОБЫЧНО КОНДЕНСАТОР СМЕСИТЕЛЬНОГО ТИПА. ОБРАЗОВАВШИЙСЯ КОНДЕНСАТ ОХЛАЖДАЕТСЯ В ГРАДИРНЕ, ЧАСТЬ ЕГО НАПРАВЛЯЕТСЯ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ПАРА В КОНДЕНСАТОР, А ИЗЛИШКИ – ИЛИ НА МЕСТНОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ИЛИ СНОВА ЗАКАЧИВАЕТСЯ В ПЛАСТ. ДЛЯ ПАРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ХАРАКТЕРНО ВЫСОКОЕ СОДЕРЖАНИЕ В ПАРЕ РАЗЛИЧНЫХ ГАЗОВ, ТАКИХ КАК  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  И ДР., ПРИ СОДЕРЖАНИИ СОБСТВЕННО ВОДЯНОГО ПАРА 80 ... 93 %. ПРЕОБЛАДАЮЩИМ КОМПОНЕНТОМ ОБЫЧНО ЯВЛЯЕТСЯ  $\text{CO}_2$ , РЕЖЕ  $\text{N}_2$ . ПРИСУТСТВИЕ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ СЛЕДУЕТ УЧИТЫВАТЬ И ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, И ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВОК.

ЕСЛИ НА ВЫХОДЕ ИЗ СКВАЖИНЫ ДАВЛЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРА СМЕСИ СООТВЕТСТВЕННО РАВНЫ  $P_{\text{см}}$  И  $T_{\text{см}}$ , ТО, УЧИТЫВАЯ, ЧТО ЭТО ЕСТЬ СУММА ПАРЦИАЛЬНЫХ ДАВЛЕНИЙ ПАРА И ГАЗА,  $P_{\text{см}} = P_{\text{п}} + P_{\text{г}}$ , ОТМЕТИМ – ДАВЛЕНИЕ ПАРА, ПО КОТОРОМУ СЛЕДУЕТ ОПРЕДЕЛЯТЬ ЕГО ЭНТАЛЬПИЮ, ЭНТРОПИЮ И ДРУГИЕ ПАРАМЕТРЫ ВСЕГДА МЕНЬШЕ, ЧЕМ ДАВЛЕНИЕ СМЕСИ:  $P_{\text{п}} < P_{\text{см}}$ . СООТВЕТСТВУЮЩАЯ РАЗНИЦА МОЖЕТ БЫТЬ ВЕСЬМА ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ. ТАК, ЕСЛИ СМЕСЬ ВОДЯНОГО ПАРА С  $\text{CO}_2$  НАХОДИТСЯ В СОСТОЯНИИ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ С ВОДНЫМ РАСТВОРОМ  $\text{CO}_2$  (А ТАК ОБЫЧНО И БЫВАЕТ НА ПРАКТИКЕ) ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ  $T_{\text{см}} = 150^\circ\text{C}$  И ДАВЛЕНИИ

7,5 МПА, ТО РАВНОВЕСНОЕ ДАВЛЕНИЕ ГАЗА РАВНО  $P_{\text{г}} = 6,975$  МПА. ТОГДА ДАВЛЕНИЕ СОБСТВЕННО ПАРА БУДЕТ  $P_{\text{п}} = P_{\text{см}} - P_{\text{г}} = 7,5 - 6,975 = 0,525$  МПА, Т.Е. ПРИМЕРНО В 14 РАЗ МЕНЬШЕ, ЧЕМ  $P_{\text{см}}$ .

ПРИСУТСТВИЕ ГАЗА ОКАЗЫВАЕТ ВЛИЯНИЕ И НА РАБОТУ КОНДЕНСАТОРА. ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ ТУРБИНЫ НЕОБХОДИМО, ЧТОБЫ ДАВЛЕНИЕ В НЕМ БЫЛО ПО ВОЗМОЖНОСТИ МИНИМАЛЬНЫМ. ПРИ ОТСУТСТВИИ ГАЗА ЭТО ДОСТИГАЕТСЯ УМЕНЬШЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНДЕНСАЦИИ ДО 50 ... 80  $^\circ\text{C}$ . ГАЗ ЖЕ ПРИ ТАКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ НЕ КОНДЕНСИРУЕТСЯ И ЕГО ПАРЦИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ ОСТАЕТСЯ ДОСТАТОЧНО ВЫСОКИМ. ПОЭТОМУ ПРИХОДИТСЯ СЕПАРИРОВАТЬ И ОТСАСЫВАТЬ ГАЗ ИЗ КОНДЕНСАТОРА, НА ЧТО ТРАТИТСЯ ЧАСТЬ ПОЛУЧЕННОЙ ЭНЕРГИИ. ПОСКОЛЬКУ ТЕПЛООТДАЧА ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРОВОДОМНОЙ СМЕСИ ОЧЕНЬ НИЗКАЯ, ОБЫЧНО ВМЕСТО РЕКУПЕРАТИВНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ЗДЕСЬ ПРИМЕНЯЮТ ТЕПЛООБМЕННИКИ СМЕСИТЕЛЬНОГО ТИПА, В КОТОРЫХ ПАР КОНДЕНСИРУЕТСЯ НА КАПЛЯХ РАЗБРЫЗГИВАЕМОЙ В АППАРАТЕ ХОЛОДНОЙ ВОДЫ.

НАЛИЧИЕ ПРИМЕСЕЙ СЕРОВОДОРОДА ТАКЖЕ ОСЛОЖНЯЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ. ПОПАДАЯ С ГАЗАМИ В АТМОСФЕРУ,  $\text{H}_2\text{S}$ , ПОСКОЛЬКУ ОН ТЯЖЕЛЕЕ ВОЗДУХА, СКАПЛИВАЕТСЯ В НИЗИНАХ И ЛОЩИНАХ, ГУБИТЕЛЬНО ВОЗДЕЙСТВУЯ НА ЖИВУЮ ПРИРОДУ. ЧАСТИЧНО РАСТВОРЯЯСЬ В ВОДЕ, ОН ВЫЗЫВАЕТ ИНТЕНСИВНУЮ КОРРОЗИЮ МЕТАЛЛОВ (ДЕТАЛИ ТУРБИНЫ, ТРУБОПРОВОДЫ И ДР.). ПОЭТОМУ СТАРАЮТСЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ОЧИСТИТЬ ПОЛУЧАЕМЫЕ ФЛЮИДЫ ОТ СЕРОВОДОРОДА, И УЖ ЗАТЕМ НАПРАВИТЬ ИХ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ. ОДИН ИЗ МЕТОДОВ СОСТОИТ В ТОМ, ЧТО В ТРУБОПРОВОД, ПО КОТОРОМУ ФЛЮИД ПОДАЕТСЯ К СЕПАРАТОРУ, ВВОДИТСЯ РАСТВОР, СОДЕРЖАЩИЙ ЩЕЛОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ИЛИ СОЕДИНЕНИЯ ЖЕЛЕЗА. ПО МЕРЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ЧЕРЕЗ ЭТОТ СВОЕОБРАЗНЫЙ РЕАКТОР ГАЗООБРАЗНЫЙ СЕРОВОДОРОД ВЗАИМОДЕЙСТВУЕТ С ВЫСОКОДИСПЕРГИРОВАННЫМ РАСТВОРОМ, ПЕРЕХОДИТ В ЖИДКУЮ ФАЗУ И СВЯЗЫВАЕТСЯ В НЕЛЕТУЧИЕ СОЕДИНЕНИЯ, ЛЕГКО УДАЛЯЕМЫЕ ПРИ СЕПАРАЦИИ.

ОДНАКО ЧАЩЕ ВСЕГО ВСТРЕЧАЮТСЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ВЫХОДОМ ПАРОВОДОМНОЙ СМЕСИ. ПО СТЕПЕНИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВЫХОДЯЩЕЙ ИЗ СКВАЖИНЫ СМЕСИ РАЗЛИЧАЮТ ТЕРМАЛЬНЫЕ ВОДЫ С НИЗКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ (ДО 10 Г/Л), КОТОРЫЕ МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ. ПРИ СРЕДНЕЙ

МИНЕРАЛИЗАЦИИ (10 ... 35 Г/Л) ТРЕБУЕТСЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЧИСТКА, А ПРИ ВЫ-

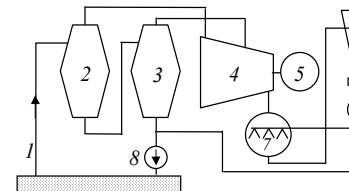


Рис. 4.1 Схема ГеоТЭС на пароводяной смеси с двухступенчатым расширением:  
1 – смесь из скважины; первый сепаратор; 3 – вторая ступень

### СОКОЙ (ДО 200 Г/Л И БОЛЕЕ) МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ТОЛЬКО ДВУХКОНТУРНЫЕ СХЕМЫ.

КОГДА В ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ СРЕДЕ ПРЕОБЛАДАЕТ ВОДА С НИЗКИМИ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ И СОДЕРЖАНИЕМ РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ, БЫВАЕТ ДОСТАТОЧНЫМ УСТАНОВКА ОДНОГО, РЕЖЕ ДВУХ СЕПАРАТОРОВ-РАСШИРИТЕЛЕЙ, ОТКУДА ПАР НАПРАВЛЯЕТСЯ НЕПОСРЕДСТВЕННО В ТУРБИНУ, А ОТСЕПАРИРОВАННАЯ ВОДА ВМЕСТЕ С КОНДЕНСАТОМ ПРИ ДОСТАТОЧНО ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ СНОВА ЗАКАЧИВАЕТСЯ В ПЛАСТ. СХЕМА ТАКОЙ ГЕОТЭС ПРИВЕДЕНА НА РИС. 4.1.

НА РИС. 4.2 ПРИВЕДЕНА СХЕМА ТЭС, РАБОТАЮЩЕЙ НА ГЕОТЕРМАЛЬНОМ РАССОЛЕ С ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ СОЛЕЙ. ЗДЕСЬ ПАРОВОДЯНАЯ СМЕСЬ ПОДАЕТСЯ В ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ПАРОГЕНЕРАТОР, ГДЕ ОТДАЕТ ЧАСТЬ СВОЕГО ТЕПЛА НА ВЫРАБОТКУ ПАРА, ПОСЛЕ ЧЕГО ЗАКАЧИВАЕТСЯ В ПЛАСТ. ПОЛУЧЕННЫЙ ПАР НАПРАВЛЯЕТСЯ ДАЛЕЕ В ТЕПЛОСИЛОВУЮ УСТАНОВКУ, РАБОТАЮЩУЮ ПО ЦИКЛУ РЕНКИНА. ПРИ ЭТОМ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕГО ТЕЛА В РЕАЛИЗУЕМОМ ЦИКЛЕ МОЖЕТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНА ИЛИ ВОДА И ВОДЯНОЙ ПАР, ИЛИ СПЕЦИАЛЬНЫЕ НИЗКОКИПАЮЩИЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛИ. ПРЕИМУЩЕСТВА ТАКОГО ДВУХКОНТУРНОГО ЦИКЛА ОЧЕВИДНЫ. ПРОБЛЕМЫ ЖЕ СОСТОЯТ В ТОМ, ЧТО ИЗ-ЗА БОЛЬШОЙ АГРЕССИВНОСТИ И ЗАГРЯЗНЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКИМИ ПРИМЕСЯМИ ДОБЫВАЕМОГО РАССОЛА, ПАРОГЕНЕРАТОР, НАСОСЫ И ЧАСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ ТРЕБУЕТСЯ ИЗГОТАВЛИВАТЬ ИЗ СПЕЦИАЛЬНЫХ, ВЕСЬМА ДОРОГОСТОЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ.

ОДНИМ ИЗ НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАЙОНОВ МИРА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТЕПЛА ЗЕМЛИ ЯВЛЯЕТСЯ КАМЧАТКА. ПРОГНОЗИРУЕМАЯ МОЩНОСТЬ ГЕОТЭС ЗДЕСЬ МОЖЕТ СОСТАВЛЯТЬ 1500 МВТ ПО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И 2000 МВТ ПО ТЕПЛОТЕ. К СОЖАЛЕНИЮ, ЭТИ МОЩНОСТИ ОСТАЮТСЯ ПРАКТИЧЕСКИ НЕОСВОЕННЫМИ. САМАЯ ПЕРВАЯ, ПАУЖЕТСКАЯ ТЭС С БИНАРНЫМ ЦИКЛОМ МОЩНОСТЬЮ 600 КВТ БЫЛА ПОСТРОЕНА В 1967 Г. В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ОНА РЕКОНСТРУИРОВАНА И РАБОТАЕТ ПО ОДНОКОНТУРНОЙ СХЕМЕ, ОБЕСПЕЧИВАЯ МОЩНОСТЬ 11 МВТ. ПАРАМЕТРЫ ПАРА НА ВЫХОДЕ ИЗ СКВАЖИНЫ ГЛУБИНОЙ ВСЕГО 220 ... 480 М:  $P = 0,2 \dots 0,4$  МПА,  $T = 417 \dots 473$  К. В 1998 Г. НА КАМЧАТКЕ ПОСТРОЕНА ВЕРХНЕ-МУТНОВСКАЯ ГЕОТЭС ОБЩЕЙ МОЩНОСТЬЮ 12 МВТ. В ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ ТАМ ЖЕ СТРОИТСЯ И ЗАПУЩЕНА ПЕРВАЯ ОЧЕРЕДЬ ГЕОТЭС МОЩНОСТЬЮ 50 МВТ. В ТАБЛ. 4.2 ПРИВЕДЕНЫ СВЕДЕНИЯ О ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ТЕПЛОТЫ НА ГЕОТЭС В 1997 Г. В ОТДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ МИРА.

#### 4.2 ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ТЕПЛОТЫ НА ГЕОТЭС В СТРАНАХ МИРА В 1997 Г.

СТРАНА	ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ	ТЕПЛОТА
--------	----------------	---------

	МОЩНОСТЬ, МВт	ВЫРАБОТКА, ГВт·ч С	МОЩНОСТЬ, МВт	ВЫРАБОТКА, ГВт·ч С
ВЕНГРИЯ	–	–	638	2795
ИНДОНЕЗИЯ	309	1048	–	–
ИСЛАНДИЯ	50	265	1443	5878
ИТАЛИЯ	626	3417	308	1008
КИТАЙ	28	98	2143	5527
МЕКСИКА	753	5877	28	74
НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ	286	2193	264	1837
РОССИЯ	37	25	210	673
США	2817	16 491	1874	3859
ТУРЦИЯ	20	68	140	552
ФИЛИППИНЫ	1051	5470	–	–
ФРАНЦИЯ	4	24	456	2006
ЯПОНИЯ	299	1722	319	1928

#### 4.3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ВОД

НАША СТРАНА ОБЛАДАЕТ ОБШИРНЫМИ ЗАПАСАМИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ВОД С НЕВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ НА ВЫХОДЕ ИЗ СКВАЖИН, КОТОРЫЕ С УСПЕХОМ МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ИЛИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ, НАПРИМЕР, ЭТО МОЖЕТ БЫТЬ ОБОГРЕВ ТЕПЛИЦ, СУШКА СЕЛЬХОЗСЫРЬЯ ИЛИ СЕНА, ПОДОГРЕВ ПОЛОВ НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ, ПРИГОТОВЛЕНИЕ ТЕПЛОГО ПИТЬЯ, МОЙКА СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ ПЕРЕД ЕЕ ПЕРЕРАБОТКОЙ И Т.П. ЕСЛИ ЭТО ПОЗВОЛЯЕТ СТЕПЕНЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ, ТЕПЛУЮ ПОДЗЕМНУЮ ВОДУ МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛЯ ПОЛИВА ОГОРОДНЫХ КУЛЬТУР ИЛИ НАПРАВЛЯТЬ В РЫБОРАЗВОДНЫЕ ПРУДЫ.

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ЯВЛЯЮТСЯ НЕ ТОЛЬКО ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ. БЛАГОДАРИ ПОВЫШЕННОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ МНОГИЕ ТЕРМАЛЬНЫЕ ВОДЫ ОБЛАДАЮТ ЛЕЧЕБНЫМИ СВОЙСТВАМИ И ШИРОКО ИСПОЛЬЗУЮТСЯ В МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЯХ. ПОЭТОМУ ПРИ ОСВОЕНИИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЛЕДУЕТ ОЦЕНИВАТЬ И ЦЕЛЕБНЫЕ СВОЙСТВА ВЫВОДИМОЙ ИЗ НЕДР ЗЕМЛИ ВОДЫ И ПРИ БЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ СТРОИТЬ ТАМ ВОДОЛЕЧЕБНИЦЫ, САНАТОРИИ И ДОМА ОТДЫХА.

ОТДЕЛЬНЫЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МОГУТ СТАТЬ СЫРЬЕВОЙ БАЗОЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА СЕРЫ, БРОМА, РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ДРУГИХ ВЕЩЕСТВ. ВОЗМОЖНО И КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСПОЛАГАЕМЫХ РЕСУРСОВ, КОГДА ПОЛЕЗНЫЕ ВЕЩЕСТВА ДОБЫВАЮТСЯ НА СТАДИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ФЛЮИДА, ПОДАВАЕМОГО ЗАТЕМ НА ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЮ.

КОНЕЧНО ЖЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД СВЯЗАНО С ОПРЕДЕЛЕННЫМИ ОСЛОЖНЕНИЯМИ, ВЫЗВАННЫМИ ВЫСОКОЙ ИХ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ. ПО МЕРЕ ПОДЪЕМА ВОДЫ ПО СКВАЖИНЕ ДАВЛЕНИЕ, А ЗНАЧИТ, И РАСТВОРИМОСТЬ ГАЗОВ И СОЛЕЙ ПАДАЮТ, И ГАЗЫ НАЧИНАЮТ ВЫДЕЛЯТЬСЯ, А СОЛИ ВЫПАДАЮТ В ОСАДОК. ПОЭТОМУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРУБОПРОВОДЫ ПОДВЕРЖЕНЫ ИНТЕНСИВНОМУ ОКИСЛЕНИЮ И ОТЛОЖЕНИЮ ОСАДКОВ, КОТОРЫЕ ЗАСОРЯЮТ ИХ И УМЕНЬШАЮТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧУ. ДЛЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ ЭТОГО ПРИМЕНЯЮТСЯ ДВУХКОНТУРНЫЕ СИСТЕМЫ СО СПЕЦИАЛЬНЫМ, НАПРИМЕР ГРАФИТОПЛАСТОВЫМ ТЕПЛООБМЕННИ-

КОМ, ХОРОШО ПРОТИВОСТОЯЩИМ И КОРРОЗИИ, И ЗАСОРЕНИЮ ОТЛОЖЕНИЯМИ СОЛЕЙ.

## 5 Термоэлектрические генераторы

НА ВСЕ СВОЙ ХОД,  
НА ВСЕ СВОИ ЗАКОНЫ.

*Е.А. БАРАТЫНСКИЙ*

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ ЯВЛЯЮТСЯ УСТРОЙСТВАМИ Т ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ ПРИ ПОМОЩИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМОЭЛЕМЕНТОВ, МЕЖДУ СПАЯМИ КОТОРЫХ ПОДДЕРЖИВАЕТСЯ НЕКОТОРЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ НАПОР. ТАКОЙ ГЕНЕРАТОР СОДЕРЖИТ СИСТЕМУ ПОДВОДА И ОТВОДА ТЕПЛОТЫ И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ БАТАРЕЮ. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИВЕДЕНА НА РИС. 5.1.

ТЕПЛОТА ОТ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА (ГОРЕЛКА, ВОДЯНОЙ ПАР, КОНЦЕНТРИРОВАННЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЛУЧИ) ПОДВОДИТСЯ К ТЕПЛОПРИЕМНИКУ НЕПОСРЕДСТВЕННО ИЛИ ЧЕРЕЗ ТЕПЛОПРОВОД, НА ОДНОЙ ИЗ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОТОРОГО УСТАНОВЛЕНА ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ ТЕРМОБАТАРЕЯ, СОСТОЯЩАЯ ИЗ МНОЖЕСТВА ВЕТВЕЙ С ПРОВОДИМОСТЬЮ  $P$  И  $N$ -ТИПОВ. ДРУГОЙ ТЕПЛОПРОВОД УСТАНОВЛЕН С ДРУГОЙ СТОРОНЫ ТЕРМОБАТАРЕИ И ЗДЕСЬ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ОХЛАЖДЕНИЕ И ОТВОД ТЕПЛА. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ВЕТВЕЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ, ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ИЛИ КОЛЬЦЕВОЙ ФОРМЫ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ КОММУНИКАЦИОННЫМИ ШИНАМИ ПРИ ПОМОЩИ ПАЙКИ, ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКИ ИЛИ МЕХАНИЧЕСКИМ ПРИЖИМОМ. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕРМОБАТАРЕЙ СООТВЕТСТВУЮЩИМ ОБРАЗОМ ЭЛЕКТРОИЗОЛИРОВАНЫ ДРУГ ОТ ДРУГА И ОТ КОРПУСА ГЕНЕРАТОРА. ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ОКИСЛЕНИЯ ТЕРМОБАТАРЕИ ЛИБО ПОМЕЩАЮТСЯ В ГЕРМЕТИЧНОМ ЧЕХЛЕ, ЗАПОЛНЕННОМ АРГОНОМ, ЛИБО ПОКРЫВАЮТСЯ АНТИСУБЛИМАЦИОННОЙ ЭМАЛЬЮ, ЛИБО ЗАПРЕССОВЫВАЮТСЯ В МАТРИЦУ ИЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА. ОТВОД ТЕПЛА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ИЛИ СПЕЦИАЛЬНЫМ ХЛАДОАГЕНТОМ, ИЛИ С ПОМОЩЬЮ РАЗВИТОГО ОРЕБРЕНИЯ ОТВОДЯЩИХ РАДИАТОРОВ.

МОЩНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ ОБЫЧНО НЕВЕЛИКА, НО МОЖЕТ ДОСТИГАТЬ ДАЖЕ ДЕСЯТКОВ КИЛОВАТТ. ТАКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ ПРЕДНАЗНАЧАЮТСЯ ДЛЯ «МАЛОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ АВТОНОМНОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ НАЗЕМНЫХ, МОРСКИХ ИЛИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, В МЕТЕОРОЛОГИИ, НАВИГАЦИИ, АРМИИ ИЛИ СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ, ГДЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ ПОДХОДОВ НЕВОЗМОЖНО ИЛИ НЕВЫГОДНО ЭКОНОМИЧЕСКИ.

ОСНОВНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ТЕРМОГЕНЕРАТОРОВ ЯВЛЯЮТСЯ ТЕРМОЭДС  $E$ , РАБОЧИЙ ТОК  $I$ , ВНУТРЕННЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ  $R$  И СОПРОТИВЛЕНИЕ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ  $R_H$ , ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ  $N_{эл}$  И КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ  $\eta$ . ПРИВЕДЕМ НЕКОТОРЫЕ СООТНОШЕНИЯ, ОПИСЫВАЮЩИЕ ЭТИ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

$$E = \alpha(T_G - T_X); \quad I = E / (R + R_H); \quad U = I R_H; \quad N_{эл} = UI; \quad \eta = C_\eta(T_G - T_X),$$

ГДЕ  $T_G$  И  $T_X$  – ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ ПОДВОДА И ОТВОДА ТЕПЛА, СООТВЕТСТВЕННО;  $\alpha$  – КОЭФФИЦИЕНТ ТЕРМОЭДС;  $C_\eta$  – РАСЧЕТНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ, ЗАВИСЯЩИЙ ОТ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ  $R$  И  $R_H$ , ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО МАТЕРИАЛА И ЕГО УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ, А ТАКЖЕ ОТ ЕГО СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ. НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНЕРАТОРА ТАКОВА, ЧТО МАКСИМУМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ПОЛУЧАЕТСЯ ПРИ  $R_H/R = 1$ , А МАКСИМАЛЬНЫЙ КПД – ПРИ ТОКЕ, СОСТАВЛЯЮЩЕМ ПОЛОВИНУ ОТ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.

**ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПРИНЯТО КЛАССИФИЦИРОВАТЬ ПО УРОВНЮ ДОПУСТИМЫХ РАБОЧИХ ТЕМПЕРАТУР НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ (ДО 300 °С), СРЕДНЕТЕМПЕРАТУРНЫЕ (300 ... 600 °С) И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ (ВЫШЕ 600 °С). К ПЕРВОЙ ГРУППЕ ОТНОСЯТСЯ ХАЛЬКОГЕНИДЫ ВИСМУТА И СУРЬМЫ  $VI_2(TE, SE)_3$  И  $(SB, VI)_2TE_3$  С ДЫРОЧНОЙ (P-ТИП) И ЭЛЕКТРОННОЙ (N-ТИП) ПРОВОДИМОСТЬЮ, СООТВЕТСТВЕННО. ВТОРУЮ ГРУППУ СОСТАВЛЯЮТ ТЕЛЛУРИДЫ СВИНЦА И ГЕРМАНИЯ  $PbTe$  И  $GeTe$ . САМЫМИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ ЯВЛЯЮТСЯ СПЛАВЫ КРЕМНИЯ С ГЕРМАНИЕМ  $SiGe$ .**

**НАИБОЛЬШЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ НАШЛИ ГЕНЕРАТОРЫ НА ОРГАНИЧЕСКОМ ТОПЛИВЕ. С СЕРЕДИНЫ 70-Х ГОДОВ И ПО НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ РОССИИ РАБОТАЮТ БОЛЕЕ 12 000 ГАЗОВЫХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ МОЩНОСТЬЮ 80 ... 150 Вт. ТАКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ С КАТАЛИТИЧЕСКИМИ ГАЗОВЫМИ ГОРЕЛКАМИ ВЫПУСКАЮТСЯ СЕРИЙНО И МОГУТ РАЗВИВАТЬ МОЩНОСТЬ 400 ... 900 Вт ПРИ НАПРЯЖЕНИИ 27 В.**

**С НАЧАЛА 60-Х ГОДОВ НАЧАЛИ РАЗРАБАТЫВАТЬСЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ, В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОТЫ В КОТОРЫХ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ РАЗЛИЧНЫЕ РАДИОИЗОТОПНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. ЗДЕСЬ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ЭНЕРГИЯ РАСПАДА ЯДЕР РАДИОНУКЛИДОВ. ТАКОЙ РАСПАД ПРОИСХОДИТ НЕЗАВИСИМО ОТ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ, ПОЭТОМУ ЭТИ ГЕНЕРАТОРЫ ОТЛИЧАЮТСЯ ПРОСТОТОЙ КОНСТРУКЦИИ, ВЫСОЧАЙШЕЙ НАДЕЖНОСТЬЮ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬЮ. С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТЬЮ ОТ 0,005 ДО 125 Вт ПРИ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ 0,014 ... 1,25 Вт/кг РАДИОИЗОТОПНЫЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ СТАЛИ НЕЗАМЕНИМЫМИ В КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ, НА ПОДВОДНЫХ БУЯХ, ПЛАВУЧИХ МОРСКИХ МАЯКАХ И МЕТЕОСТАНЦИЯХ, ДЛЯ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОСТИМУЛЯТОРОВ И Т.П. РАЗРАБОТАНЫ И РЕАЛИЗУЮТСЯ ПРОЕКТЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ЭЛЕМЕНТАХ  $^{238}Pu$ ,  $^{210}Po$ ,  $^{242}Sm$  С НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТЬЮ ДО 10 кВт.**

**ЕЩЕ БОЛЬШИЕ МОЩНОСТИ (ДО НЕСКОЛЬКИХ ТЫСЯЧ КИЛОВАТТ!) МОГУТ БЫТЬ ДОСТИГНУТЫ, КОГДА В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОТЫ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР. ПРИ ЭТОМ ДЛЯ ПОДВОДА ТЕПЛА ОТ РЕАКТОРА ОБЫЧНО ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ (РАСПЛАВЛЕННЫЙ МЕТАЛЛ ИЛИ ВОДА). ОТВОД ТЕПЛОТЫ ОТ ХОЛОДНЫХ СПАЕВ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ВСЕГДА СПЕЦИАЛЬНЫМ ХЛАДОАГЕНТОМ ИЛИ ИЗЛУЧЕНИЕМ. ПОКА ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ НАШЛИ ИМЕННО ТАКИЕ УСТАНОВКИ ВЫНЕСЕННОГО ТИПА, ЯВЛЯЯСЬ ПРОТОТИПАМИ МОЩНЕЙШИХ УСТАНОВОК БЛИЖАЙШЕГО БУДУЩЕГО.**

## 6 Энергия морей и океанов

**И ВОЕТ, И СВИЩЕТ, И БЬЕТ, И ШИПИТ,  
КАК ВЛАГА, МЕШАЯСЬ С ОГНЕМ,  
ВОЛНА ЗА ВОЛНОЮ; И К НЕБУ ЛЕТИТ  
ДЫМЯЩИМСЯ ПЕНА СТОЛБОМ.  
И БРЫЗНУЛ ПОТОК С ОГЛУШИТЕЛЬНЫМ РЕВОМ,  
ИЗВЕРГНУТЫЙ БЕЗДНЫ ЗИЯЮЩИМ ЗЕВОМ.**

**Ф. ШИЛЛЕР**

Примерно 70 % поверхности Земли занимает Мировой океан, и соответственно такая же доля энергии солнечного излучения, падающего на Землю, воспринимается его поверхностью. Поглощательная способность воды составляет 94 %, так что запасы энергии в Мировом океане колоссальны. При отсутствии перемешивания 98,8 % этой энергии воспринимается в слое толщиной 1 см. Практически в результате перемешивания волнами и течениями влияние солнечной радиации распространяется на глубину 50 ... 100 м. В экваториальной зоне температура на поверхности океанов достигает 28 °С, а на глубине 500 м – всего 2 ... 5 °С. Так что только тепловая энергия, обусловленная этой разницей температур, оценивается в  $10^{23}$  кДж. Энергия океанских течений может дать  $10^{15}$  кДж, такого же порядка энергия волн и приливов и отливов. И хотя поисковые работы по использо-

ванию энергии морей и океанов приобретают все более широкие масштабы и сулят многообещающие перспективы, до сих пор мы умеем утилизировать лишь ничтожные доли располагаемых возможностей, да и то ценой больших и медленно окупаемых капиталовложений.

Наиболее очевидным и эффективным способом использования этих видов энергии является постройка приливных электростанций. По крайней мере известны несколько реализованных проектов, в том числе и в нашей стране, успешно эксплуатируемых в настоящее время.

Большое внимание отводится проектам, в которых для получения электроэнергии в замкнутом паротурбинном цикле с легкоиспаряющимися рабочими телами (пропан, фреон) используется разность температур воды на поверхности и на дне морей и океанов. При этом обсуждаются перспективы создания электростанций на многие тысячи киловатт! Еще более сулят гидротурбины на таких мощных и стабильных течениях, как Гольфстрим. Неожиданной возможностью оказалось выращивание в океане быстрорастущих водорослей, перерабатываемых в метан для замены природного газа. По предварительным оценкам один гектар таких плантаций способен обеспечить энергией одного жителя планеты Земля.

Так что все зависит не от способов извлечения энергии из океана, а от стоимости такого процесса, которая и определяет, как скоро научные разработки будут внедрены в реальную практику. Кажется, что при современных темпах научно-технического прогресса существенные сдвиги в океанской энергетике должны произойти уже к концу нашего века.

## 6.1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕСУРСОВ

**ИЗВЕСТНЫ ДВА СПОСОБА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ОКЕАНА В ЭНЕРГИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ. САМЫЙ ПРОСТОЙ – ЭТО ПРЯМОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ. В ОТЛИЧИЕ ОТ ОПИСАННЫХ ВЫШЕ КОНСТРУКЦИЙ, С УЧЕТОМ СРАВНИТЕЛЬНО МАЛЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕРЕПАДОВ, ЗДЕСЬ ПРИМЕНЯЮТСЯ ПРОСТЕЙШИЕ ТЕРМОПАРЫ, СОСТАВЛЕННЫЕ ИЗ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРОДНЫХ СПЛАВОВ: ХРОМЕЛЬ, КОПЕЛЬ, АЛЮМЕЛЬ И ДР. ТЕРМОЭДС ОДНОЙ ТЕРМОПАРЫ ОЧЕНЬ МАЛА И СОСТАВЛЯЕТ ЕДИНИЦЫ МИЛЛИВОЛЬТ. ПОЭТОМУ ИЗ НИХ СОСТАВЛЯЮТ БАТАРЕЮ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ВКЛЮЧЕНИЕМ ТЕРМОПАР, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИМ СУММИРОВАНИЕ ЭДС. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ТАКИХ БАТАРЕЙ ОБЕСПЕЧИВАЕТ СООТВЕТСТВУЮЩЕЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ТОКА НАГРУЗИ. ПОЭТОМУ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО ТЕРМОПАР В ТАКОМ ГЕНЕРАТОРЕ МОЖЕТ ДОСТИГАТЬ НЕСКОЛЬКИХ ТЫСЯЧ ШТУК. СХЕМА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ МОРСКОЙ ВОДЫ ПРИВЕДЕНА НА РИС. 6.1. МОЩНОСТЬ ТАКИХ ГЕНЕРАТОРОВ НЕВЕЛИКА, И ОНИ НАХОДЯТ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПИТАНИЯ МАЛОМОЩНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ: РАДИОМАЯКОВ, АВТОНОМНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ, ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И Т.П.**

**БОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНЫМ ЯВЛЯЕТСЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ В РАБОТУ, РЕАЛИЗУЕМЫЙ НА ВСЕХ КОНДЕНСАТОРНЫХ ТЕПЛОВЫХ СТАНЦИЯХ КАК ИЗВЕСТНЫЙ ЦИКЛ РЕНКИНА. НА ОКЕАНСКОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ГРЕЮЩЕЙ СРЕДОЙ ЯВЛЯЕТСЯ ВОДА СО СРАВНИТЕЛЬНО НЕБОЛЬШОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ, А ТЕПЛОПРИЕМНИКОМ – ВОДА В ГЛУБИНЕ ОКЕАНА. ПОЭТОМУ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧИХ ТЕЛ НА ТРОПИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ МОГУТ ПРИМЕНЯТЬСЯ ТОЛЬКО ТАКИЕ ВЕЩЕСТВА, ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ КОТОРЫХ ЛЕЖАТ В ИНТЕРВАЛЕ 5 ... 25 °С. ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ЭТОТ ИНТЕРВАЛ ДРУГОЙ: ОТ –1 ДО –20 °С. ТАКИМ УСЛОВИЯМ ОТВЕЧАЮТ РЯД НИЗКОКИПЯЩИХ ЖИДКОСТЕЙ: АММИАК, ПРОПАН, ХЛАДОНЫ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК. НАИБОЛЬШЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ НАХОДИТ АММИАК. ТЕМПЕРАТУРА НАСЫЩЕНИЯ ПАРОВ АММИАКА ПРИ АБСОЛЮТНОМ ДАВЛЕНИИ 1 МПА РАВНА 25,7 °С, А ПРИ ДАВЛЕНИИ 0,1 МПА ОНА УЖЕ ОТРИЦАТЕЛЬНА: –33,6 °С.**

СХЕМА АММИАЧНОЙ ТЭС ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛА ОКЕАНА ПРИВЕДЕНА НА РИС. 6.2. ПАРОГЕНЕРАТОР ТАКОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ТРУБЧАТЫЙ ВОДОАММИАЧНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК, ЧЕРЕЗ КОТОРЫЙ ПРОКАЧИВАЕТСЯ ТЕПЛАЯ ВОДА С ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА. ЗДЕСЬ ОНА ОТДАЕТ ТЕПЛО АММИАКУ, ПРОХОДЯЩЕМУ ВНУТРИ ТРУБНОГО ПУЧКА. АММИАК ПОДАЕТСЯ В ТЕПЛООБМЕННИК ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ НАСОСОМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ, ПРИ КОТОРОМ  $T_n$  МЕНЬШЕ, ЧЕМ  $T_r$  ПОДАВАЕМОЙ ВОДЫ. В РЕЗУЛЬТАТЕ, КАК И В ОБЫЧНОМ КОТЛЕ, АММИАК НАГРЕВАЕТСЯ ДО ТЕМПЕРАТУРЫ НАСЫЩЕНИЯ, ИСПАРЯЕТСЯ И ДАЖЕ НЕСКОЛЬКО ПЕРЕГРЕВАЕТСЯ. В ВИДЕ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА АММИАК НАПРАВЛЯЕТСЯ В ТУРБИНУ, А ОТДАВШАЯ ЧАСТЬ ТЕПЛА ВОДА СЛИВАЕТСЯ В ОКЕАН. ОТРАБОТАВШИЙ В ТУРБИНЕ ПАР ПОДАЕТСЯ В КОНДЕНСАТОР, ОХЛАЖДЕНИЕ В КОТОРОМ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ХОЛОДНОЙ ВОДОЙ ИЗ ГЛУБИНЫ ОКЕАНА. СТЕПЕНЬ РАСШИРЕНИЯ В ТУРБИНЕ ВЫБИРАЕТСЯ ТАКОЙ, ЧТОБЫ ТЕМПЕРАТУРА ПАРА НА ВЫХОДЕ БЫЛА НЕСКОЛЬКО ВЫШЕ, ЧЕМ ТЕМПЕРАТУРА ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ НА ВЫХОДЕ ИЗ КОНДЕНСАТОРА. ЭТО ГАРАНТИРУЕТ ПОЛНУЮ КОНДЕНСАЦИЮ ОТРАБОТАННОГО ПАРА. ОХЛАЖДАЮЩАЯ ВОДА ИЗ КОНДЕНСАТОРА ЗАКАЧИВАЕТСЯ В ГЛУБИННЫЕ СЛОИ, ЧТОБЫ НЕ ВЫЗЫВАТЬ ОХЛАЖДЕНИЕ ТЕПЛЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ. КОНДЕНСАТ ИЗ КОНДЕНСАТОРА ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ НАСОСОМ ВНОВЬ ЗАКАЧИВАЕТСЯ В ПАРОГЕНЕРАТОР, И ЦИКЛ ПОВТОРЯЕТСЯ.

ТАКИЕ ТЕПЛОСТАНЦИИ МОГУТ БЫТЬ КАК СТАЦИОНАРНЫМИ, С РАСПОЛОЖЕНИЕМ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА БЕРЕГУ ИЛИ НА СПЕЦИАЛЬНЫХ МОРСКИХ ЭСТАКАДАХ (КАК МОРСКИЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ), ТАК И ПЛАВУЧИМИ, НА СПЕЦИАЛЬНОМ СУДНЕ. ПРЕИМУЩЕСТВО ВТОРОГО ВАРИАНТА В ВОЗМОЖНОСТИ ЛЕГКО МЕНЯТЬ ДИСЛОКАЦИЮ СТАНЦИИ И ПЕРЕМЕЩАТЬ ЕЕ ПО МЕРЕ ИСТОЩЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЗАПАСОВ В КОНКРЕТНОМ МЕСТЕ. К НЕДОСТАТКАМ СЛЕДУЕТ ОТНЕСТИ ПРОБЛЕМЫ С ПЕРЕДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ, КАК ДЛЯ ЛЮБОГО МОРСКОГО СУДНА.

ОКЕАНСКИЕ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ОТНОСЯТСЯ К САМЫМ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ПРЕДПРИЯТИЯМ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ, ИБО НЕ СОДЕРЖАТ ВЫБРОСОВ, ИНОРОДНЫХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ. ОДНАКО ДЛИТЕЛЬНОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ТАКИХ СТАНЦИЙ НА ОДНОМ МЕСТЕ СПОСОБНО ИЗМЕНИТЬ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ВОДОЕМА, ТЕЧЕНИЕ ЕГО ВОД, И ЭТО МОЖЕТ СКАЗАТЬСЯ НЕОЖИДАННЫМ ОБРАЗОМ НА ФЛОРЕ И ФАУНЕ РЕГИОНА. ПОЭТОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ ТАКИХ СТАНЦИЙ, КАК ВПРОЧЕМ И ЛЮБЫХ ДРУГИХ, ДОЛЖНО ПРЕДШЕСТВОВАТЬ ВСЕСТОРОННЕЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ.

## 6.2 ЭНЕРГИЯ МОРСКИХ ПРИЛИВОВ, ТЕЧЕНИЙ И ВОЛН

В НАУЧНОМ МЫШЛЕНИИ ВСЕГДА ПРИСУТСТВУЕТ ЭЛЕМЕНТ ПОЭЗИИ.  
*А. ЭЙНШТЕЙН*

ПЕРВОПРИЧИНОЙ МОРСКИХ ТЕЧЕНИЙ ЯВЛЯЕТСЯ СОЛНЕЧНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, НЕОДИНАКОВО ОБОГРЕВАЮЩЕЕ РАЗЛИЧНЫЕ РАЙОНЫ МИРОВОГО ОКЕАНА. МОРСКИЕ ТЕЧЕНИЯ – ЭТО СВОБОДНОЕ ДВИЖЕНИЕ ВОДЫ, СВОЕОБРАЗНЫЙ «МОРСКОЙ ВЕТЕР», КИНЕТИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ КОТОРОГО МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ, А ЗАТЕМ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.

ДРУГИМ ФАКТОРОМ, ОБУСЛАВЛИВАЮЩИМ ДВИЖЕНИЕ МОРСКИХ ВОД, ЯВЛЯЕТСЯ КОСМИЧЕСКИЙ – СИЛЫ ВЗАИМНОГО ПРИТЯЖЕНИЯ ЗЕМЛИ, СОЛНЦА И ЛУНЫ. ЭТИ СИЛЫ ПРИТЯЖЕНИЯ, КОГДА СОЛНЦЕ ИЛИ ЛУНА НАХОДЯТСЯ НАД ОКЕАНОМ ИЛИ МОРЕМ, ВЫЗЫВАЮТ ПОДЪЕМ УРОВНЯ ВОДЫ НА ЛИНИИ, СОЕДИНЯЮЩЕЙ ЦЕНТРЫ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ. ПРИЛИВНАЯ ВОЛНА ДВИЖЕТСЯ ПО ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ВСЛЕД ЗА ВОЗМУЩАЮЩИМ НЕБЕСНЫМ ТЕЛОМ. ТАК ВОЗНИКАЮТ МОРСКИЕ ПРИЛИВЫ. ПОСКОЛЬКУ ЗЕМЛЯ ВРАЩАЕТСЯ, ТО ВСЛЕД ЗА ПРИЛИВОМ ПРИХОДИТ И ОТЛИВ, КОГДА УРОВЕНЬ ВОДЫ ПОНИЖАЕТСЯ. ТАКОЕ ПРИЛИВНО-ОТЛИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ

**ПРОИСХОДИТ ДВАЖДЫ В СУТКИ – ОДИН РАЗ ПОД ВЛИЯНИЕМ СОЛНЦА, ДРУГОЙ РАЗ – ПОД ВЛИЯНИЕМ ЛУННОГО ПРИТЯЖЕНИЯ.**

**ВЕТРОВЫЕ ВОЛНЫ ВОЗНИКАЮТ НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ. ВЕТЕР ОТДАЕТ ЧАСТЬ СВОЕЙ ЭНЕРГИИ ВОДЕ, И ЭТО ОПРЕДЕЛЯЕТ ХАРАКТЕР ЕЕ ВОЛНОВОГО ДВИЖЕНИЯ: ЧАСТОТУ, АМПЛИТУДУ И УДЕЛЬНУЮ МОЩНОСТЬ ВОЛНЫ. К СОЖАЛЕНИЮ, И ВЕТЕР, И ВОЛНЫ ВОЗНИКАЮТ И ИЗМЕНЯЮТСЯ ПО СЛУЧАЙНОМУ ЗАКОНУ, НЕ ПОЗВОЛЯЮЩЕМУ НАДЕЖНО ПРЕДСКАЗЫВАТЬ ОБСТАНОВКУ, А ЗНАЧИТ И ЭФФЕКТИВНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ СОДЕРЖАЩУЮСЯ В НИХ ЭНЕРГИЮ.**

**КАК УЖЕ ОТМЕЧАЛОСЬ, НАИБОЛЬШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ И РЕАЛЬНОЕ ВОПЛОЩЕНИЕ (В РОССИИ И ВО ФРАНЦИИ ТАКИЕ СТАНЦИИ РАБОТАЮТ УЖЕ С 1967 Г.) ИМЕЮТ ПРИЛИВНЫЕ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИЛИВНОЙ СТАНЦИИ ВЫБИРАЕТСЯ МОРСКАЯ БУХТА ИЛИ ЗАЛИВ, ГДЕ ВЫСОТА ПРИЛИВНОЙ ВОЛНЫ НАИБОЛЬШАЯ. БУХТА ОТГОРАЖИВАЕТСЯ ОТ ОКЕАНА ПЛОТИНОЙ, В КОТОРОЙ УСТАНОВЛИВАЮТСЯ ГИДРОТУРБИНЫ С ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРАМИ. БУХТА, ТАКИМ ОБРАЗОМ, ПРЕВРАЩАЕТСЯ В РАБОЧИЙ БАССЕЙН, И ЧЕМ ОН БОЛЬШЕ, ТЕМ БОЛЬШУЮ МОЩНОСТЬ МОЖЕТ ОБЕСПЕЧИТЬ СТАНЦИЯ. УПРОЩЕННАЯ СХЕМА ПРИЛИВНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (РИС. 6.3) НАГЛЯДНО ПОЯСНЯЕТ ПРИНЦИП ЕЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ. ВО ВРЕМЯ ПРИЛИВА УРОВЕНЬ ВОДЫ ПЕРЕД ПЛОТИНОЙ ВЫШЕ, ЧЕМ В БУХТЕ, И ВОДА ВХОДИТ В БУХТУ, ЗАСТАВЛЯЯ РАБОТАТЬ ГИДРОТУРБИНУ. ПРИ ОТЛИВЕ УРОВЕНЬ ВОДЫ В БУХТЕ ОКАЗЫВАЕТСЯ ВЫШЕ, ЧЕМ В ОКЕАНЕ, ПОЭТОМУ ВОДА УХОДИТ ИЗ БУХТЫ, ОПЯТЬ СОВЕРШАЯ РАБОТУ В ТУРБИНЕ.**

**ТАКИЕ ТУРБИНЫ, СПОСОБНЫЕ РАБОТАТЬ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ, НАЗЫВАЮТ ОБРАТИМЫМИ. И ДРУГУЮ ВАЖНУЮ ОСОБЕННОСТЬ ДОЛЖНА УЧИТЫВАТЬ КОНСТРУКЦИЯ ЭТОЙ ТУРБИНЫ – В ОТЛИЧИЕ ОТ ОБЫЧНЫХ ГИДРОТУРБИН ОНА ДОЛЖНА ИМЕТЬ ВЫСОКИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ МАЛЫХ НАПОРАХ И ОЧЕНЬ БОЛЬШИХ РАСХОДАХ ВОДЫ. ТО, ЧТО ЭТИ ПРОБЛЕМЫ РАЗРЕШИМЫ, ПОДТВЕРЖДАЕТСЯ УСПЕШНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ КИСЛОГУБСКОЙ ПРИЛИВНОЙ СТАНЦИИ НА БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ БЛИЗ МУРМАНСКА. НА СТАНЦИИ РАБОТАЕТ 2 ГИДРОАГРЕГАТА МОЩНОСТЬЮ ПО 400 КВТ КАЖДЫЙ.**

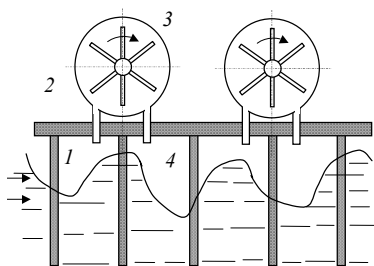
**В РОССИЙСКОМ ЗАПОЛЯРЬЕ ЕСТЬ ЕЩЕ НЕСКОЛЬКО УЧАСТКОВ, УДОБНЫХ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРИЛИВНЫХ ГИДРОСТАНЦИЙ, А ТАКЖЕ СУЩЕСТВУЕТ, ПРАВДА, ДО КОНЦА НЕ ПРОРАБОТАННЫЙ ПРОЕКТ ПЕРЕГОРОДИТЬ ПРОЛИВ НЕВЕЛЬСКОГО ПЛОТИНОЙ МЕЖДУ МАТЕРИКОМ И ОСТРОВОМ САХАЛИН У МЫСА ЛАЗАРЕВА (ГЛУБИНА 7 М, ШИРИНА 8 КМ). РАСПОЛАГАЕМЫЕ РЕСУРСЫ ТАКИХ ПРИЛИВНЫХ СТАНЦИЙ СОСТАВЛЯЮТ ДЕСЯТКИ И ДАЖЕ СОТНИ МИЛЛИОНОВ КИЛОВАТТ! СДЕРЖИВАЮЩИМ ФАКТОРОМ ЯВЛЯЕТСЯ КОНЕЧНО ЖЕ ВЫСОКАЯ ПЕРВОНАЧАЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА, НЕПРОРАБОТАННОСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ, А ТАКЖЕ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ВЫЗВАННАЯ СУТОЧНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ПРИЛИВНЫХ ВОЛН. ИЗВЕСТЕН И БОЛЕЕ ФАНТАСТИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ – ПЕРЕГОРОДИТЬ ПЛОТИНОЙ ГИБРАЛТАРСКИЙ ПРОЛИВ СРЕДИЗЕМНОГО МОРЯ (ДЛИНА ПЛОТИНЫ 29 КМ, ВЫСОТА 200 М) И ПОЛУЧАТЬ ТАМ ТАКОЕ КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, КОТОРОЕ ХВАТИТ ДЛЯ ВСЕЙ ЕВРОПЫ!**

**СУЩЕСТВУЮТ ПРОЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ МОРСКИХ И ОКЕАНСКИХ ТЕЧЕНИЙ. МОРСКИЕ ТЕЧЕНИЯ ОМЫВАЮТ БЕРЕГА ВСЕХ КОНТИНЕНТОВ. ДАЖЕ ВО ВНУТРЕННИХ МОРЯХ РОССИИ – ЧЕРНОМ И КАСПИЙСКОМ – СУЩЕСТВУЮТ ДОСТАТОЧНО МОЩНЫЕ КРУГОВЫЕ ТЕЧЕНИЯ. ЧТОБЫ ПОЛУЧАТЬ ЭНЕРГИЮ ЭТИХ ТЕЧЕНИЙ,**

**В США РАЗРАБОТАН ПРОЕКТ ГИДРОТУРБИНЫ ДИАМЕТРОМ 170 М И ДЛИНОЙ 80 М, КОТОРУЮ ПЛАНИРУЕТСЯ УСТАНОВИТЬ НА ЯКОРЯХ НА ГЛУБИНЕ 30 М ПОД ПОВЕРХНОСТЬЮ ОКЕАНА. ПРИ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ 3 ... 7 М/С ТАКАЯ ТУРБИНА ОБЕСПЕЧИТ МОЩНОСТЬ 50 000 КВТ. ПО ПРОЕКТУ ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ УСТАНОВИТЬ 200 ТАКИХ ТУРБИН В 30-ТИ КМ ВДОЛЬ ПОБЕРЕЖЬЯ ФЛОРИДЫ, ПОЛУЧАЯ 10 МЛН. КВТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ. СЛЕДУЕТ ТОЛЬКО ПОДЧЕРКНУТЬ, ЧТО ДО РЕАЛЬНОГО ВОПЛОЩЕНИЯ ТАКИХ ГРАНДИОЗНЫХ ПРОЕКТОВ ЕЩЕ ПРЕДСТОИТ ОТВЕТИТЬ НА МНОГИЕ И МНОГИЕ**

**ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПЛАНА, НА ЧТО ПОТРЕБУЮТСЯ МНОГО УСИЛИЙ И МНОГИЕ ГОДЫ АКТИВНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.**

**УЖЕ ГОВОРИЛОСЬ О ТРУДНОСТЯХ УТИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГИИ МОРСКИХ ВОЛН, ХОТЯ ОНА КОЛОССАЛЬНА. ПРИ ВЫСОТЕ ВОЛНЫ В 2 М ЕЕ УДЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ СОСТАВЛЯЕТ 22,1 КВТ НА КАЖДЫЙ ПОГОННЫЙ МЕТР ВОЛНОВОГО ФРОНТА. КАЖДЫЙ МЕТР ВОЛНОВОГО ФРОНТА ВДОЛЬ ОКЕАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ВЕЛИКОБРИТАНИИ В СРЕДНЕМ ИМЕЕТ МОЩНОСТЬ 80 КВТ/М. ПОЭТОМУ УЖЕ ЭКСПЛУАТИРУЮТСЯ ОТДЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ РЕАЛИЗОВАТЬ И ЭТО НАПРАВЛЕНИЕ НЕТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. НА РИС. 6.4 ПРИВЕДЕНА СХЕМА ОДНОЙ ИЗ ВОЛНОВЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК. ОСНОВУ УСТАНОВКИ СОСТАВЛЯЕТ ПЛАТФОРМА, ПЛАВАЮЩАЯ НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ. РАЗМЕРЫ ПЛАТФОРМЫ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ДОСТАТОЧНО БОЛЬШИМИ, ЧТОБЫ ВОЛНЕНИЕ МОРЯ МАЛО СКАЗЫВАЛОСЬ НА ЕЕ КОЛЕБАНИЯХ. СНИЗУ ПЛАТФОРМА РАЗДЕЛЕНА НА ОТДЕЛЬНЫЕ СЕКЦИИ, ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЯЕМЫЕ ВОДОЙ. НАД КАЖДОЙ ПАРОЙ СЕКЦИЙ РАСПОЛОЖЕНА ВОЗДУШНАЯ ТУРБИНА С ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОМ, ПРОТОЧНАЯ ЧАСТЬ КОТОРОЙ СОЕДИНЕНА С ВОЗДУШНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ СЕКЦИЙ. КОГДА ЧЕРЕЗ СЕКЦИЮ ПРОХОДИТ ГРЕБЕНЬ ВОЛНЫ, ВОДА, КАК ПОРШЕНЬ, ВЫТАЛКИВАЕТ ВОЗДУХ В ТУРБИНУ. РАЗМЕРЫ СЕКЦИЙ ВЫБИРАЮТСЯ ТАК, ЧТО В СОСЕДНЕЙ СЕКЦИИ В ЭТО ВРЕМЯ ПРОХОДИТ ВОЛНОВАЯ ВПАДИНА, И ВОЗДУХ ЗАСАСЫВАЕТСЯ С ВЫХОДА ТУРБИНЫ, УВЕЛИЧИВАЯ ЕЕ МОЩНОСТЬ. ВОЛНОВЫЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ РАБОТАЮТ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ, ГДЕ НАБЕГАЮЩАЯ ВОЛНА ИМЕЕТ НАИБОЛЬШУЮ ВЫСОТУ. ПОСКОЛЬКУ ВЫРАБОТКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЗДЕСЬ ЗАВИСИТ ОТ ПОГОДЫ И ПРИ ШТИЛЕ ВОЛНОВАЯ СТАНЦИЯ НЕ РАБОТАЕТ, ОНА ДОЛЖНА БЫТЬ ОБОРУДОВАНА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ АККУМУЛЯТОРАМИ.**



**РИС. 6.4 СХЕМА ВОЛНОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ:  
1 – СЕКЦИЯ С УХОДЯЩЕЙ ВОЛНОЙ.**

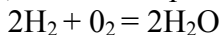
## 7 Водородная энергетика

**УМЕТЬ ЧИТАТЬ – ЗНАЧИТ, УМЕТЬ ДУМАТЬ НАД ПРОЧИТАННЫМ.**

**аКАДЕМИК П.А. АЛЕКСАНДРОВ**

же многие годы инженерная мысль работает над использованием водорода в качестве эффективного и экологически чистого топлива, поскольку он отлично удовлетворяет многочисленным требованиям, предъявляемым к энергоносителям.

Распространенность водорода в природе очень велика. Содержание водорода в земной коре составляет по массе 1 %, а в воде – 11,19 %, так что если использовать его как энергоноситель, то можно не беспокоиться об истощении его запасов. Водород обладает высокой теплотой сгорания: при сжигании 1 кг водорода образуется свыше 138 000 кДж тепла, что более чем в 3 раза превышает теплоту сгорания, например, бензина. При окислении водорода по реакции



ОБРАЗУЕТСЯ ВОДА, КОТОРАЯ, КАК ПОКАЗАНО НИЖЕ, САМА ЯВЛЯЕТСЯ СЫРЬЕМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЛЕДУЮЩИХ ПОРЦИЙ ВОДОРОДА. ТАКИМ ОБРАЗОМ, ВОДОРОД ОТНОСИТСЯ К ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМ ИСТОЧНИКАМ ЭНЕРГИИ. И САМ ВОДОРОД, И ОБРАЗУЮЩАЯСЯ ПРИ ЕГО СЖИГАНИИ ВОДА НЕ ВРЕДНЫ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА ИЛИ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. НИКАКИЕ ДРУГИЕ ПРОДУКТЫ ПРИ ОКИСЛЕНИИ ВОДОРОДА НЕ ОБРАЗУЮТСЯ. ВОДОРОД – САМОЕ ЛЕГКОЕ ВЕЩЕСТВО НА ЗЕМЛЕ. ЕГО ПЛОТНОСТЬ ПРИ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ РАВНА 0,0899 КГ/М<sup>3</sup>, ЧТО В 14,4 РАЗА МЕНЬШЕ ПЛОТНОСТИ ВОЗДУХА. ВЯЗКОСТЬ ВОДОРОДА ТАКЖЕ НЕВЕЛИКА, ВСЕГО 6,358 · 10<sup>-6</sup> ПА·С ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 0 °С, ПОЭТОМУ ВОДОРОД ЛЕГКО ТРАНСПОРТИРОВАТЬ ПО ТРУБАМ.

ПЕРЕКАЧКА ВОДОРОДА НА РАССТОЯНИЕ 500 КМ ОБХОДИТСЯ ПОЧТИ В 10 РАЗ ДЕШЕВЛЕ, ЧЕМ ПЕРЕДАЧА ТАКОГО ЖЕ КОЛИЧЕСТВА ЭНЕРГИИ ПО ПРОВОДАМ. В ТО ЖЕ ВРЕМЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЭТОГО ГАЗА БОЛЬШЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОЗДУХА ПОЧТИ В 6 РАЗ, А ТЕПЛОЕМКОСТЬ – В 14 РАЗ. ЭТО ОБЕСПЕЧИВАЕТ БОЛЬШУЮ ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ПОТОКЕ ВОДОРОДА, ЧТО ЭФФЕКТИВНО ИСПОЛЬЗУ-

## **ЕТСЯ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ.**

Как топливо водород качественно близок к природному газу и топливовоздушной смеси. Поэтому он пригоден для использования в тех же технологических установках, что и другие органические топлива. Водород универсален и удобен в хранении (в газгольдерах). Так что водороду присущ набор всех положительных качеств, какими должно обладать идеальное топливо. Надо лишь обеспечить безопасность его использования (водородно-воздушная смесь взрывоопасна, водород хорошо растворяется во многих металлах, ухудшая их прочностные свойства), а главное – иметь его в достаточных количествах.

Однако в чистом виде водород в природе не встречается, и весь он находится в связанном виде – в основном в воде, а также во множестве других соединений, и чтобы выделить водород, надо разорвать его валентную связь с другими атомами.

Водород получают конверсионными методами из различных веществ: коксового газа, метана, продуктов переработки нефти. Наиболее перспективным и по запасам сырья, и по экологическим соображениям является получение водорода из воды, для чего используются различные способы разложения воды: термический, электролитический, термохимический и фотохимический.

Термический способ (термолиз) состоит в высокотемпературном воздействии на воду. Расчеты показывают, что для осуществления термолиза необходимо поддерживать температуру около 3500 °С, что в производственных условиях нереально. Электрохимический способ (электролиз) состоит в разложении воды электрическим током. На первый взгляд этот способ явно неэкономичен. Ведь даже в идеальном случае при сжигании водорода можно получить столько тепла, сколько энергии было затрачено на разложение воды, в реальности же КПД электролизера не превышает 80 %, а КПД электростанции, на которой теплота сгорания водорода превращается в энергию, составляет не более 40 %. Но вывод о неэффективности такого способа получения водорода безусловен не всегда. Во-первых, на добычу того топлива, которое предполагается заменить водородом, также тратятся немалые средства, к которым добавляется стоимость очистки вредных газов, золоулавливания и т.д., а во вторых, существуют такие режимы работы тепловых станций, когда вырабатываемая энергия является излишней, например, в ночное время. Тогда избыток энергии целесообразно отправлять на выработку водорода в электролизерах.

**СТОИМОСТЬ ВОДОРОДА МОЖНО СУЩЕСТВЕННО СНИЗИТЬ, ЕСЛИ НАЙТИ ПОТРЕБИТЕЛЯ И НА ДРУГОЙ ПРОДУКТ РАЗЛОЖЕНИЯ ВОДЫ – КИСЛОРОД, КОТОРЫЙ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ВО МНОГИХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.**

**ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ (ТХС) ЗАКЛЮЧАЮТСЯ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ПРОВЕДЕНИИ НЕСКОЛЬКИХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ, ОДНИМ ИЗ КОНЕЧНЫХ ПРОДУКТОВ КОТОРЫХ ЯВЛЯЕТСЯ ВОДОРОД. МНОГОСТАДИЙНОСТЬ ПРОЦЕССА СУЩЕСТВЕННО ЗАТРУДНЯЕТ ЕГО КРУПНОМАСШТАБНОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ. ДОСТОИНСТВОМ ЭТОГО СПОСОБА ЯВЛЯЕТСЯ ТО, ЧТО ЗДЕСЬ НЕ ТРЕБУЕТСЯ ПОДВОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ОН ПРИ ОТНОСИТЕЛЬНО НЕВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ. КРОМЕ ТОГО, ВСЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕАГЕНТЫ В ТАКИХ ЦИКЛАХ, ЗА ИСКЛЮЧЕНИЕМ ВОДЫ, РЕГЕНЕРИРУЮТСЯ ЗА СЧЕТ ПОТРЕБЛЯЕМОГО ТЕПЛА, ЧТО УДЕШЕВЛЯЕТ ВОДОРОДНОЕ ТОПЛИВО. ПРИМЕРОМ МОЖЕТ СЛУЖИТЬ ТЕРМОХИМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ «МАРК-9», РАЗРАБОТАННЫЙ УЧЕНЫМИ ЕВРАТОМА. ОН СОСТОИТ ИЗ ТРЕХ РЕАКЦИЙ:**

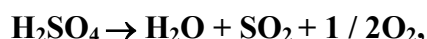


**ФОТОХИМИЧЕСКИЙ СПОСОБ (ФОТОЛИЗ) ОСНОВАН НА РАСЩЕПЛЕНИИ ВОДЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ. ДЛЯ РАСЩЕПЛЕНИЯ МОЛЕКУЛЕ ВОДЫ НЕОБХОДИМО ПЕРЕДАТЬ КВАНТ ЭНЕРГИИ, НО ВОДА ПРОЗРАЧНА ДЛЯ ВИДИМОГО СВЕТА, ПОЭТОМУ НЕОБХОДИМ ПОСРЕДНИК В ПЕРЕДАЧЕ ЭНЕРГИИ – КАКОЕ-ЛИБО ВЕЩЕСТВО, НЕПРОЗРАЧНОЕ ДЛЯ СВЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ. В ЭТОЙ РОЛИ МОГУТ ВЫСТУПАТЬ**

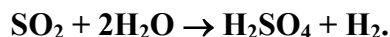
**НЕКОТОРЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ КРАСИТЕЛИ, КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РУТЕНИЯ, РОДИЯ И ДРУГИЕ ВЕЩЕСТВА.**

**ГИБРИДНЫЕ МЕТОДЫ РАСЩЕПЛЕНИЯ МОЛЕКУЛ ОСНОВАНЫ НА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕССОВ РАЗНОЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ.**

**СРЕДИ ТАКИХ МЕТОДОВ ВЕСЬМА ПРИВЛЕКАТЕЛЕН ДВУХСТАДИЙНЫЙ ТЕРМОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СЕРНОКИСЛОТНЫЙ ЦИКЛ. НА ПЕРВОМ ЭТАПЕ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ТЕРМОЛИЗ ПРИ 850 °С**



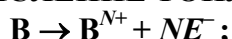
**А ЗАТЕМ ПРОВОДИТСЯ ЭЛЕКТРОЛИЗ ПО СЛЕДУЮЩЕЙ СХЕМЕ:**



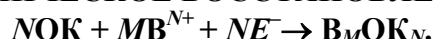
**РАСХОД ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОСТАВЛЯЕТ ЗДЕСЬ ЛИШЬ 15 % ОТ ТОГО КОЛИЧЕСТВА, КОТОРОЕ НЕОБХОДИМО ДЛЯ ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ ОБЫЧНЫМ СПОСОБОМ. МОЖНО ОЖИДАТЬ, ЧТО ЭТОТ ИЛИ ДРУГИЕ ГИБРИДНЫЕ МЕТОДЫ СОСТАВЯТ КОНКУРЕНЦИЮ КОНВЕРСИОННЫМ МЕТОДАМ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА.**

**КРОМЕ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО СЖИГАНИЯ В ТОПОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ ВОДОРОД ИСПОЛЬЗУЕТСЯ КАК ТОПЛИВО (ВОССТАНОВИТЕЛЬ) В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРАХ НА ОСНОВЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, В КОТОРЫХ ПРОИСХОДИТ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОКИСЛИТЕЛЯ И ТОПЛИВА НЕПОСРЕДСТВЕННО В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ. ТАКИЕ ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ НАЗЫВАЮТ ТОКООБРАЗУЮЩИМИ, ПРИ ИХ ПРОТЕКАНИИ НЕ ПРОИСХОДИТ ПРЯМОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОЛЕКУЛ ОКИСЛИТЕЛЯ И ТОПЛИВА, РЕАКЦИЯ ПРОТЕКАЕТ КАК ДВА СОПРЯЖЕННЫХ ПРОЦЕССА:**

**– ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ ТОПЛИВА С ОТДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ  $E^-$**



**– ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЯ**



**В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗ ИСХОДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОКИСЛИТЕЛЯ ОК (ЧИСТЫЙ КИСЛОРОД ИЛИ ВОЗДУХ) И ВОССТАНОВИТЕЛЯ В ПОЛУЧАЕТСЯ ТОТ ЖЕ ПРОДУКТ  $\text{B}_m\text{OK}_N$ , ЧТО И ПРИ ГОРЕНИИ, ОДНАКО ЗДЕСЬ ХИМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ПРЕВРАЩАЕТСЯ НЕ В ТЕПЛОТУ, А В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ.**

**ТОКООБРАЗУЮЩИЕ РЕАКЦИИ ПРОВОДЯТСЯ В СПЕЦИАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ РАЗДЕЛЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЯ И ВОССТАНОВИТЕЛЯ И ОРГАНИЗАЦИЮ НАПРАВЛЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ИОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ. ЭТИ УСТРОЙСТВА НАЗЫВАЮТ ТОПЛИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ. СХЕМА ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА, РАБОТАЮЩЕГО НА ВОДОРОДЕ (ИЛИ МЕТАНОЛЕ), ПРИВЕДЕНА НА РИС. 7.1. ОСНОВУ КОНСТРУКЦИИ СОСТАВЛЯЮТ АНОД, НА КОТОРОМ ПРОИСХОДИТ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ ТОПЛИВА, И КАТОД, ГДЕ СОВЕРШАЕТСЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЯ. ЧТОБЫ ОБЕСПЕЧИТЬ ПОДВОД РЕАГЕНТОВ, И АНОД, И КАТОД ВЫПОЛНЯЮТСЯ В ВИДЕ ПОРИСТЫХ НИКЕЛЕВЫХ ИЛИ УГОЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ. ЧАСТО ТАКИЕ ЭЛЕКТРОДЫ ИМЕЮТ РАЗНЫЕ РАЗМЕРЫ ПОР, УМЕНЬШАЮЩИЕСЯ ПО МЕРЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ К ВНУТРЕННИМ АКТИВНЫМ СЛОЯМ, ГДЕ И ПРОТЕКАЮТ НЕПОСРЕДСТВЕННО НАЗВАННЫЕ РЕАКЦИИ. ПРОСТРАНСТВО МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ ЗАПОЛНЯЕТСЯ ИОННЫМ ПРОВОДНИКОМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИМ ДВИЖЕНИЕ ИОНОВ. В КАЧЕСТВЕ ТАКОГО ПРОВОДНИКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИМЕНЯЮТСЯ ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ ЭЛЕКТРОЛИТОВ, ИОНООБМЕННЫЕ МЕМБРАНЫ, РАСПЛАВЛЕННЫЕ ИЛИ ТВЕРДЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ НА ОСНОВЕ ЦИРКОНИЯ  $\text{ZrO}_2$ .**

**МЕЖДУ АНОДОМ И КАТОДОМ СТАВИТСЯ КАКОЙ-ЛИБО ПОТРЕБИТЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА, И ЭЛЕКТРОНЫ, ПРОХОДЯ ОТ АНОДА К КАТОДУ, БУДУТ СОВЕРШАТЬ ТАМ РАБОТУ. НАПРЯЖЕНИЕ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА НЕВЕЛИКО (НЕ ПРЕВЫШАЕТ 1 В), ПОЭТОМУ ИЗ НИХ СОСТАВЛЯЮТ БАТАРЕЮ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ (ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ТОКА) И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ (ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ) ВКЛЮЧЕНИЕМ. ТАКАЯ БАТАРЕЯ ИМЕЕТ СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВЫВОДА ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ, ПОДАЧИ РЕАГЕНТОВ, ОТВОДА ВЫДЕЛЯЮЩЕГОСЯ ТЕПЛА. ВМЕСТЕ С БАТАРЕЕЙ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭТИ УСТРОЙСТВА И**

## РЕЕЙ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭТИ УСТРОЙСТВА И АГРЕГАТЫ И СОСТАВЛЯЮТ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОР.

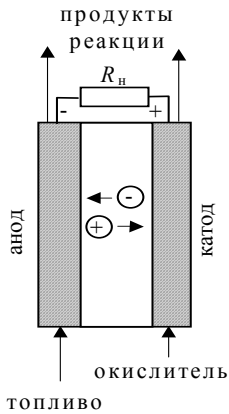


Рис. 7.1 Схема

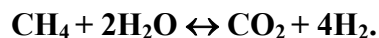
**ИНТЕНСИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ СИЛЬНО ВОЗРАСТАЕТ С ПОВЫШЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ИЛИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ КАТАЛИЗАТОРОВ. НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫМИ КАТАЛИЗАТОРАМИ ВОДОРОДНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ЯВЛЯЮТСЯ ПЛАТИНА И НИКЕЛЬ, ДЛЯ КИСЛОРОДНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ – ПЛАТИНА, АКТИВИРОВАННЫЙ УГОЛЬ, ОКСИДЫ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА.**

**ОСНОВНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ ЯВЛЯЕТСЯ ИХ МОЩНОСТЬ, СРОК СЛУЖБЫ И РЕАЛЬНЫЙ КПД, ПОКАЗЫВАЮЩИЙ, КАКАЯ ДОЛЯ РАСПОЛАГАЕМОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ РЕАГЕНТОВ БЫЛА ПРЕВРАЩЕНА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ. СРЕДИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ ЕСТЬ**

**УСТРОЙСТВА МОЩНОСТЬЮ ОТ 0,5 ДО 11 000 КВТ, С РЕСУРСОМ ОТ 35 000 ЧАСОВ ПРИ КПД ОТ 20 ДО 65. ОН РАСТЕТ В ПРИМЕРНО 5 РАЗ В ГОД. ЭТИ ГЕНЕРАТОРЫ СТАНУТ ШИРОКО ПРИМЕНЯТЬСЯ НЕ ТОЛЬКО В СПЕЦИФИЧЕСКИХ СИТУАЦИЯХ (НА КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЯХ И СТАНЦИЯХ, ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ И ДР.), НО И КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ МНОГИХ ОБЛАСТЕЙ ПРОИЗВОДСТВА.**

**В ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОТМЕТИМ, ЧТО ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МОГУТ РАБОТАТЬ И НЕПОСРЕДСТВЕННО НА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВАХ (НЕФТЕПРОДУКТЫ, ПРИРОДНЫЙ ГАЗ), НО СКОРОСТЬ ИХ ЭЛЕКТРООКИСЛЕНИЯ СЛИШКОМ МАЛА, ИЗ-ЗА ЧЕГО ПРИХОДИТСЯ ПРИМЕНЯТЬ КАТАЛИЗАТОРЫ И ПОДНИМАТЬ ТЕМПЕРАТУРУ РЕАКЦИИ ДО**

**500 °С И ВЫШЕ. ПОЭТОМУ ОБЫЧНО ЭТИ ТОПЛИВА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ПОДВЕРГАЮТ КОНВЕРСИИ. ДЛЯ МЕТАНА, НАПРИМЕР, ЭТА РЕАКЦИЯ ПРЕДСТАВЛЯЕТСЯ В ВИДЕ**



8 Биомасса как источник энергии

**НЕВОЛЬНО ПОЯВЛЯЕТСЯ ВОПРОС: ЧТО ЖЕ ПРЕДСТОИТ ЧЕЛОВЕЧЕСТВУ В БУДУЩЕМ, КОГДА ВЕСЬ ЗАПАС УГЛЯ БУДЕТ ИЗРАСХОДОВАН?**

*Р. КЛАУЗИУС*

### 8.1 ИСТОЧНИКИ БИОМАССЫ

**БИОМАССОЙ НАЗЫВАЮТ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО, Б ГЕНЕРИРУЕМОЕ РАСТЕНИЯМИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ФОТОСИНТЕЗА. ПРИ ПОПАДАНИИ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА НА ЛИСТ РАСТЕНИЯ СОДЕРЖАЩИЙСЯ В НЕМ ХЛОРОФИЛЛ АКТИВИРУЕТСЯ И ВСТУПАЕТ В РЕАКЦИЮ С УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ, СОДЕРЖАЩИМСЯ В ВОЗДУХЕ. В РЕЗУЛЬТАТЕ РЕАКЦИИ В АТМОСФЕРУ ВЫДЕЛЯЕТСЯ КИСЛОРОД И ОБРАЗУЕТСЯ ПРОСТЕЙШИЙ УГЛЕВОДОРОД, КОТОРЫЙ ИДЕТ НА ПОСТРОЕНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ – ЖИРОВ, БЕЛКОВ И УГЛЕВОДОВ, СОСТАВЛЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВО БИОМАССЫ. ПРИ ОКИСЛЕНИИ БИОМАССЫ ВЫДЕЛЯЕТСЯ ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГИЯ, ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ЭНЕРГИИ, ПОЛУЧЕННОЙ В ПРОЦЕССЕ ФОТОСИНТЕЗА. И ХОТЯ КПД ФОТОСИНТЕЗА НЕ ПРЕВЫШАЕТ 1 %, ЕЖЕГОДНЫЙ ПРИРОСТ БИОМАССЫ НА ЗЕМЛЕ ТАКОВ, ЧТО ЕЕ ЭНЕРГОСОДЕРЖАНИЕ ПРИМЕРНО В 10 РАЗ ПРЕВЫШАЕТ ПОТРЕБНОСТЬ В ЭНЕРГИИ ВСЕХ ЖИТЕЛЕЙ ЗЕМНОГО ШАРА. НЕБОЛЬШАЯ ЧАСТЬ ВСЕЙ БИОМАССЫ ПОСЛЕ ПЕРЕРАБОТКИ (ИЛИ БЕЗ НЕЕ) СЛУЖИТ ПИЩЕЙ ДЛЯ ЛЮДЕЙ И ЖИВОТНЫХ, ИСТОЧНИКОМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОВАРНЫХ ЦЕННОСТЕЙ ИЛИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ. ОСОБУЮ ГРУППУ СОСТАВЛЯЮТ ОТХОДЫ ТАКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ, ВКЛЮЧАЯ БЫТОВОЙ МУСОР, ВО МНОГОМ СОСТОЯЩИЙ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ.**

**ЭНЕРГИЯ БИОМАССЫ МОЖЕТ БЫТЬ ПОЛУЧЕНА ДВУМЯ СПОСОБАМИ: НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ СЖИГАНИЕМ (ДРОВА, ОТХОДЫ ДЕРЕВООБРАБОТКИ, ТОРФ И ДР.) ИЛИ ТОЖЕ СЖИГАНИЕМ, НО ПОСЛЕ ПОЛУЧЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БОЛЕЕ ЦЕННЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА (НАПРИМЕР, В ГАЗООБРАЗНОЙ ФОРМЕ), КОТОРЫЕ ОБЕСПЕЧИВАЮТ ГОРАЗДО БОЛЕЕ ВЫСОКИЙ КПД ТОПОЧНЫХ УСТРОЙСТВ. ВТОРОЙ СПОСОБ ПОЗВОЛЯЕТ УТИЛИЗИРОВАТЬ И ТАКИЕ ВИДЫ БИОМАССЫ, КОТОРЫЕ НЕ ПОДДАЮТСЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОМУ СЖИГАНИЮ.**

**ОДНИМ ИЗ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ БИОМАССЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЯВЛЯЮТСЯ ОТХОДЫ ЛЕСНОГО И СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.**

**ОТХОДЫ ЛЕСА ОБРАЗУЮТСЯ В МЕСТАХ ЛЕСОЗАГОТОВОК И НА ЛЕСООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ. ПРИ ЛЕСОЗАГОТОВКАХ ЭТО СУЧЬЯ И КОРНИ ДЕРЕВЬЕВ, ОТБРАКОВАННЫЕ ДЕРЕВЬЯ, ПОДЛЕСОК. ИЗ-ЗА ВЫСОКОЙ СТОИМОСТИ ВЫВОЗА В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ВСЕ ЭТО ОСТАЕТСЯ В ЛЕСОСЕКАХ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ. ДАЖЕ ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗЫВАЕТ, ЧТО НА ОДНОМ ГЕКТАРЕ ЛЕСА ПОСЛЕ РУБКИ ОСТАЕТСЯ ОТ 10 ДО 90 Т СУХОЙ МАССЫ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ. ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ОЧЕНЬ ВЫСОКАЯ – 28 600 КДЖ/КГ, И ПОСКОЛЬКУ ПЛОЩАДЬ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ В РОССИИ СОСТАВЛЯЕТ МНОГИЕ МИЛЛИОНЫ ГЕКТАРОВ, БОЛЕЕ ПОЛНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭТИХ ОТХОДОВ СУЛИТ ГИГАНТСКИЙ ПРИРОСТ ЭНЕРГОВОООРУЖЕННОСТИ СТРАНЫ.**

**БОЛЬШОЕ КОЛИЧЕСТВО ОТХОДОВ ПОЛУЧАЕТСЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ. ЭТИ ОТХОДЫ СКОНЦЕНТРИРОВАНЫ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЕ И БОЛЕЕ УДОБНЫ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ. ОТМЕТИМ ТОЛЬКО, ЧТО ОПИЛКИ И СТРУЖКУ ВЫГОДНЕЕ НЕ СЖИГАТЬ, А ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ИЛИ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ.**

**В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ РАСЩЕПЛЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И РАСТВОРЕНИЯ ЛИГНИНА ИСПОЛЬЗУЕТСЯ БОЛЬШОЕ КОЛИЧЕСТВО ЩЕЛОЧИ. ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ ЩЕЛОЧИ РАСТВОР ВЫПАРИВАЮТ, В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧЕГО КОНЦЕНТРАЦИЯ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ В НЕМ ВОЗРАСТАЕТ ДО 50 ... 70 %. ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ СУХИХ ОСТАТКОВ ТОЖЕ ДОСТАТОЧНО ВЫСОКА (15 400 КДЖ/КГ) И ЕГО ИСПОЛЬЗУЮТ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА.**

**В ДРУГИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДАХ БИОМАССА ВСТРЕЧАЕТСЯ ПРЕЖДЕ ВСЕГО НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, Т.Е. ТАМ, ГДЕ ПЕРЕРАБАТЫВАЕТСЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ПРОДУКЦИЯ. КОЛИЧЕСТВО ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ДОСТИГАЕТ ТАМ ОТ 100 ДО 600 КГ НА ТОННУ СЫРЬЯ. ЧАСТЬ ЭТИХ ОТХОДОВ СЛУЖИТ ХОРОШИМ КОРМОМ ДЛЯ СКОТА, А ОСТАЛЬНЫЕ (ОТХОДЫ КРУПОРУШЕК, ШЕЛУХА СЕМЕЧЕК ПОДСОЛНЕЧНИКА И Т.П.) МОЖНО С УСПЕХОМ СЖИГАТЬ ДАЖЕ В ОБЫЧНЫХ ТОПОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ.**

**ВЫСОКУЮ ТЕПЛОТУ СГОРАНИЯ ИМЕЮТ И РАСТИТЕЛЬНЫЕ ОСТАТКИ ПОЛЕЗНЫХ РАСТЕНИЙ, КОТОРЫЕ ОСТАЮТСЯ НА ПОЛЕ ПОСЛЕ УБОРКИ УРОЖАЯ (НАПРИМЕР СОЛОМА, КУКУРУЗНЫЕ СТЕБЛИ И Т.П.) ИЛИ ВЫВОЗЯТСЯ ОТТУДА ВМЕСТЕ С УРОЖАЕМ (КУКУРУЗНЫЕ ПОЧАТКИ). ИЗ-ЗА СЕЗОННОСТИ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ТОЛЬКО ИХ ОТДЕЛЬНО ЗАТРУДНИТЕЛЬНО, НО В КАЧЕСТВЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ОНИ ДОСТАТОЧНО ЭФФЕКТИВНЫ.**

**НАВОЗ ЖИВОТНЫХ ТАКЖЕ МОЖЕТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАН В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ. ОДНАКО ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭТО ОПРАВДАНО ТОЛЬКО НА ОЧЕНЬ КРУПНЫХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ТИПА. ИНАЧЕ РАСХОДЫ НА СБОР И ПЕРЕРАБОТКУ НАВОЗА МОГУТ ВО МНОГО РАЗ ПРЕВЫШАТЬ СТОИМОСТЬ ПОЛУЧАЕМОЙ ЭНЕРГИИ, И ЕГО ВЫГОДНЕЕ ВЫВОЗИТЬ НА ПОЛЯ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ.**

**ИСТОЧНИКОМ БИОМАССЫ МОГУТ СЛУЖИТЬ И ВОДНЫЕ РАСТЕНИЯ. ОСОБЕННО ПЕРСПЕКТИВНОЙ КАЖЕТСЯ ХЛОРЕЛЛА, ОБЪЕМ БИОМАССЫ КОТОРОЙ ПРИ БЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ МОЖЕТ ЗА СУТКИ ВОЗРАСТАТЬ В СЕМЬ РАЗ! ГЕКТАР МОРЯ ЗА ГОД МОЖЕТ ДАВАТЬ ДО 40 Т СУХОЙ ХЛОРЕЛЛЫ. СРЕДНЕЕ КОЛИЧЕСТВО БИОМАССЫ,**

КОТОРУЮ ДАЮТ ВОДОРОСЛИ ЗА СУТКИ СОСТАВЛЯЕТ 15 ... 25 Г (В СУХОМ ВИДЕ). НАИБОЛЬШИЙ ПРИРОСТ ЭТОЙ БИОМАССЫ ПРОИСХОДИТ В БОЛОТАХ И ДРУГИХ ВОДОЕМАХ, ГДЕ ИНТЕНСИВНАЯ СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ И ПОВЫШЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ МОЖЕТ УВЕЛИЧИВАТЬ СУТОЧНЫЙ ПРИРОСТ ДО 40 Г/(М<sup>2</sup>·СУТ). ВОДОРОСЛИ БОГАТЫ УГЛЕРОДОМ, НО ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ИХ СУХОЙ МАССЫ СРАВНИТЕЛЬНО НЕВЕЛИКА – 18 000 КДЖ/КГ, А ЗОЛЬНОСТЬ ПРЕВЫШАЕТ ЗОЛЬНОСТЬ НАЗЕМНЫХ РАСТЕНИЙ ПРИМЕРНО В 10 РАЗ, ПОЭТОМУ ДОБЫЧА ВОДОРОСЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ В РОССИИ С ЕЕ СУРОВЫМ КЛИМАТОМ ПОКА КАЖЕТСЯ НЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ. ОДНАКО ДЛЯ СТРАН С ТРОПИЧЕСКИМ МОРСКИМ ПОБЕРЕЖЬЕМ, КАК УЖЕ ОТМЕЧАЛОСЬ РАНЕЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТАКИХ БИОРЕСУРСОВ СУЛИТ ОЧЕНЬ БОЛЬШУЮ ВЫГОДУ.

НЕЛЬЗЯ НЕ ОСТАНОВИТЬСЯ И НА ГОРОДСКИХ БЫТОВЫХ ОТХОДАХ. ПОЧТИ НА 80 % ОНИ СОСТОЯТ ИЗ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗ КОТОРЫХ ПРИМЕРНО 60 % – ИМЕЮТ БИОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ. КОНЕЧНО ЖЕ, ЭТО УСРЕДНЕННЫЕ ЦИФРЫ И КОНКРЕТНЫЙ СОСТАВ ЗДЕСЬ ЗАВИСИТ ОТ ГЕОГРАФИИ РАЙОНА И ВРЕМЕНИ ГОДА. ГОРЮЧИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ЯВЛЯЮТСЯ УГЛЕРОД (26 %) И ВОДОРОД (4 %). В ОТЛИЧИЕ ОТ ТРАДИЦИОННЫХ ТОПЛИВ, ОТХОДЫ СОДЕРЖАТ МАЛО СЕРЫ И АЗОТА, НО МНОГО ВЛАГИ. ПОЭТОМУ ПРИ ИХ СЖИГАНИИ ТЕМПЕРАТУРА ПОЛУЧАЕТСЯ СРАВНИТЕЛЬНО НЕВЫСОКАЯ И ОБРАЗУЕТСЯ ВО МНОГО РАЗ МЕНЬШЕ ВРЕДНЫХ ОКИСЛОВ SO<sub>2</sub> И СО. ПРАКТИКА ПОКАЗАЛА, ЧТО ПЕРЕРАБОТКА И СЖИГАНИЕ

(С ПОЛУЧЕНИЕМ ЭНЕРГИИ) ТВЕРДЫХ ГОРОДСКИХ ОТХОДОВ ЭКОНОМИЧЕСКИ ВЫГОДНЫ ДЛЯ ГОРОДОВ С НАСЕЛЕНИЕМ БОЛЕЕ 200 ТЫС. ЧЕЛОВЕК.

К ЖИДКИМ ГОРОДСКИМ ОТХОДАМ ОТНОСЯТСЯ ОТСТОИ СТОЧНЫХ ВОД, ПОЛУЧАЕМЫЕ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ. ПЕРВИЧНЫЙ ОТСТОЙ ОБЫЧНО НЕ УТИЛИЗИРУЕТСЯ. ВТОРИЧНЫЙ ОТСТОЙ – ЭТО АКТИВИРОВАННЫЙ ИЛ БИОФИЛЬТРОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ. ОН НЕСТАБИЛЕН, НО ЭСТЕТИЧЕСКИ УЖЕ ПРИЕМЛЕМ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ. ПОСЛЕ ТРЕТИЧНОГО ОТСТАИВАНИЯ БОЛЬШУЮ ЧАСТЬ ОСАДКА СОСТАВЛЯЮТ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА, СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ОТСТОЯХ ДОХОДИТ ДО 70 % ПРИ ВЛАЖНОСТИ 95 %. ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ ОТСТОЙ ОБРАЗУЕТСЯ ПРИ АНАЭРОБНОМ СБРАЖИВАНИИ ТРЕТЬЕГО ОТСТОЯ. ВЛАЖНОСТЬ СНИЖАЕТСЯ ДО

75 %, А СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИКИ – ДО 50 %. ЭТО ПРОИСХОДИТ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТИ ОРГАНИКИ В ГАЗООБРАЗНЫЙ МЕТАН. ЭНЕРГОСОДЕРЖАНИЕ ЭТОГО ОТСТОЯ (ПО СУХОМУ ОСТАТКУ) ДОСТАТОЧНО БОЛЬШОЕ, ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ

16 200 КДЖ/КГ. ОДНАКО УТИЛИЗИРОВАТЬ ЕГО ЗАТРУДНИТЕЛЬНО ИЗ-ЗА ВЫСОКОЙ ВЛАЖНОСТИ И БОЛЬШИХ РАСХОДОВ ТЕПЛА НА ВЫСУШИВАНИЕ, ПОЭТОМУ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ТОЛЬКО ПОЛУЧАЕМЫЙ ПРИ СБРАЖИВАНИИ МЕТАН.

## 8.2 ПОЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ ИЗ БИОМАССЫ

СЕГОДНЯ БОГ, А ЗАВТРА – ПРАХ.  
Г.Р. ДЕРЖАВИН

ЕПОСРЕДСТВЕННОЕ СЖИГАНИЕ БИОМАССЫ ПРИНЦИПИАЛЬНО НЕ ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ СЖИГАНИЯ ДРУГИХ ВИДОВ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ. ЗДЕСЬ ХИМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ГОРЮЧИХ КОМПОНЕНТОВ БИОМАССЫ ПРИ ОКИСЛЕНИИ ПРЕВРАЩАЕТСЯ В ТЕПЛОТУ, КОТОРАЯ ВМЕСТЕ С ДЫМОВЫМИ ГАЗАМИ ИЗ ТОПОЧНОЙ КАМЕРЫ НАПРАВЛЯЕТСЯ В НЕКОЕ ТЕПЛОИСПОЛЬЗУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО: ВОДОПОДОГРЕВАТЕЛЬ, ПАРОГЕНЕРАТОР, КАЛОРИФЕР, СУШИЛЬНУЮ УСТАНОВКУ И ДР. КОНЕЧНО ЖЕ, КОНСТРУКЦИЯ ТОПКИ И ДРУГИХ УСТРОЙСТВ ДОЛЖНА УЧИТЫВАТЬ

**ОСОБЕННОСТИ СЖИГАЕМОГО ВЕЩЕСТВА, ЕГО ЗОЛЬНОСТЬ, ВЛАЖНОСТЬ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЦЕННОСТЬ. ЧАЩЕ ВСЕГО НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ СЖИГАНИЕМ ПОЛУЧАЮТ ТЕПЛО ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ, ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ЭТО ВСЕ НИЗКОКАЛОРИЙНЫЕ ТОПЛИВА С ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТЬЮ, СПОСОБНЫЕ БЫСТРО СЛЕЖИВАТЬСЯ, С НЕВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЗОЛЫ И БОЛЬШИМ ВЫХОДОМ ЛЕТУЧИХ ГОРЮЧИХ. ПОЭТОМУ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО СЖИГАНИЯ ИХ СЛЕДУЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ПОДСУШИВАТЬ, ОБЕСПЕЧИВАТЬ ХОРОШЕЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ С ВОЗДУХАМ. НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫМИ ЗДЕСЬ ОКАЗЫВАЮТСЯ ВИХРЕВЫЕ, ЦИКЛОННЫЕ ТОПКИ ИЛИ ТОПКИ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ. СЛОЕВЫЕ ТОПКИ ДОЛЖНЫ ИМЕТЬ МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ НАКЛОННО ПЕРЕТАЛКИВАЮЩИЕ КОЛОСНИКОВЫЕ РЕШЕТКИ.**

**ВСЕ ЭТО ХОРОШО ОКУПАЕТСЯ У СРАВНИТЕЛЬНО МОЩНЫХ АГРЕГАТОВ. ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УСТРОЙСТВ НЕБОЛЬШОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ РЕШАЮТСЯ ТРУДНЕЕ.**

**В СВЯЗИ С ЗНАЧИТЕЛЬНЫМ РОСТОМ СТОИМОСТИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ И СОХРАНЕНИЕМ ЭТОЙ ТЕНДЕНЦИИ В ОБОЗРИМОМ БУДУЩЕМ, ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ХОТЯ БЫ ЧАСТИ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО И ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА СНОВА АКТУАЛЬНЫМ СТАНОВЯТСЯ ВОЗРОЖДЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОКОМОБИЛЕЙ. ТАК НАЗЫВАЛИ ТРАНСПОРТАБЕЛЬНУЮ УСТАНОВКУ НЕБОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ, ВКЛЮЧАЮЩУЮ В СЕБЯ ТОПОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СЖИГАНИЯ МЕСТНОГО ТОПЛИВА, ПАРОВОЙ КОТЕЛ И ПОРШНЕВОЙ ПАРОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ. ЛОКОМОБИЛЬ НА КОЛЕСНОМ ХОДУ ДОСТАВЛЯЛИ В НУЖНОЕ МЕСТО, СЖИГАЛИ В НЕМ СОЛОМУ, СУЧЬЯ И Т.П., И С ЕГО ПОМОЩЬЮ ПРИВОДИЛИСЬ В ДЕЙСТВИЕ ЛЕСОПИЛЬНЫЕ РАМЫ, МОЛОТИЛКИ, ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРЫ, НАКОНЕЦ. ПО МЕРЕ ИСТОЩЕНИЯ ЗАПАСОВ МЕСТНОГО ТОПЛИВА, ЛОКОМОБИЛЬ ПЕРЕВОЗИЛСЯ НА НОВОЕ МЕСТО И ПРОДОЛЖАЛ ТРУДИТЬСЯ. СРАВНИТЕЛЬНО НИЗКИЙ КПД И ПОЛНАЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СТРАНЫ ПОДПИСАЛИ ПРИГОВОР ЭТОМУ ЧУДУ ТЕХНИКИ НАЧАЛА ПРОШЛОГО ВЕКА. НО, КАЖЕТСЯ НАМ, ЭТОТ ПРИГОВОР ЕЩЕ НЕ ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ И ЛОКОМОБИЛЬ НА СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЕ ДОЛЖЕН ЕЩЕ ВЕРНУТЬСЯ К ЖИЗНИ.**

**ГОРАЗДО БОЛЬШИЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ МАСШТАБЫ, ЧЕМ НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ СЖИГАНИЕ, ПОЛУЧИЛА ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БИОМАССЫ. СУТЬ ЭТОЙ ОБРАБОТКИ ЗАКЛЮЧАЕТСЯ В ТОМ, ЧТО БИОМАССА ПОДВЕРГАЕТСЯ ТЕПЛОВОМУ, А ИНОГДА ЕЩЕ И ХИМИЧЕСКОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ, В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧЕГО ОРГАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЕЕ РАЗЛАГАЕТСЯ С ВЫДЕЛЕНИЕМ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ (РЕЖЕ – ЖИДКОСТЕЙ) И ОБРАЗОВАНИЕМ ТВЕРДОГО УГЛИСТОГО ВЕЩЕСТВА. КАЖДЫЙ ИЗ ЭТИХ ПРОДУКТОВ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЕ ТОПЛИВО, КОТОРОЕ СЖИГАЕТСЯ В ОБЫЧНЫХ ТОПОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ. ГОВОРЯ ОБРАЗНО, ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА «ОБЛАГОРАЖИВАЕТ» ИСХОДНОЕ ТОПЛИВО. ТАКОЙ ОБРАБОТКЕ ОБЫЧНО ПОДВЕРГАЕТСЯ БИОМАССА ОТХОДОВ, СОДЕРЖАЩИХ БОЛЬШУЮ ДОЛЮ НЕГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ ИЛИ С ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТЬЮ И СОДЕРЖАНИЕМ СЕРЫ, НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ СЖИГАНИЕ КОТОРЫХ ЗАТРУДНИТЕЛЬНО ИЛИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕПРИЕМЛЕМО.**

**В ОСНОВЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛЕЖИТ ПИРОЛИЗ – ЭТО ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ИХ НАГРЕВАНИИ. ПИРОЛИЗ РЕАЛИЗУЕТСЯ В АППАРАТАХ, НАЗЫВАЕМЫХ КОНВЕРТОРАМИ (В НИХ ПРОИСХОДИТ КОНВЕРСИЯ, Т.Е. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ВЕЩЕСТВА), РЕЖЕ – РЕАКТОРАМИ, ПОДЧЕРКИВАЮЩАЯ РОЛЬ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В ЭТОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ, ИЛИ ГАЗИФИКАТОРАМИ, ПОСКОЛЬКУ ГОРЮЧИЙ ГАЗ – ЭТО ГЛАВНЫЙ ПРОДУКТ ОБРАБОТКИ.**

**ДЛЯ ПИРОЛИЗА НЕОБХОДИМЫ ПОВЫШЕННАЯ ТЕМПЕРАТУРА (СВОЯ ДЛЯ КАЖДОГО ВИДА ОРГАНИКИ) И ОТСУТСТВИЕ ОКИСЛИТЕЛЯ. ДЛЯ НАГРЕВА БИОМАССЫ ТЕПЛОТА МОЖЕТ ПОДВОДИТЬСЯ ИЗВНЕ, А МОЖЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ И ТА, КОТОРАЯ ВЫДЕЛЯЕТСЯ ВНУТРИ САМОГО РАЗЛАГАЕМОГО ВЕЩЕСТВА ПРИ ЕГО ЧАСТИЧНОМ СЖИГАНИИ, ДЛЯ ЧЕГО В АППАРАТ ПОДАЕТСЯ НЕКОТОРОЕ КОЛИЧЕСТВО ВОЗДУХА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ СГОРАНИЕ ТОЛЬКО НЕБОЛЬШОЙ ЧАСТИ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ БИОМАССЫ.**

**НА РИС. 8.1 ПРИВЕДЕНА СХЕМА ГАЗИФИКАТОРА С ВНУТРЕННИМ ОБОГРЕВОМ СЫРЬЯ, КОТОРЫЙ ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ, В ТОМ ЧИСЛЕ И ПРИ ДОБАВЛЕНИИ ДО 30 % ОТСТОЕВ СТОЧНЫХ ВОД. КОНСТРУКТИВНО ЭТОТ АППАРАТ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ВЕРТИКАЛЬНУЮ ЦИЛИНДРИЧЕСКУЮ ШАХТУ-ПЕЧЬ. ОБРАБАТЫВАЕМОЕ СЫРЬЕ НЕПРЕРЫВНО ЗАГРУЖАЕТСЯ В ЕЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ И ПОД СОБСТВЕННЫМ ВЕСОМ МЕДЛЕННО ПРОДВИГАЕТСЯ ВНИЗ. ПРИ ЭТОМ В НИЖНЕЙ ЧАСТИ АППАРАТА ОРГАНИЗУЕТСЯ ЧАСТИЧНОЕ ДОЖИГАНИЕ ТВЕРДЫХ ОСТАТКОВ ПИРОЛИЗА. ИМЕННО ЗДЕСЬ ВЫДЕЛЯЕТСЯ ТО КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛА, КОТОРОЕ НЕОБХОДИМО, ЧТОБЫ РАЗОГРЕТЬ И ПОДСУШИТЬ СЫРЬЕ В ЗОНЕ 1, НАГРЕТЬ МАССУ ДО ТЕМПЕРАТУРЫ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ГОРЮЧИХ В ЗОНЕ 2, И ЕЩЕ БОЛЕЕ НАГРЕТЬ ЕЕ В ЗОНЕ 3. В РЕЗУЛЬТАТЕ В ЭТОЙ ЗОНЕ ПРОИСХОДИТ ПИРОЛИЗ И ДОПОЛНИТЕЛЬНО ВЫДЕЛЯЕТСЯ ГОРЮЧИЙ ГАЗ, КОТОРЫЙ ВМЕСТЕ С ГАЗООБРАЗНЫМИ ПРОДУКТАМИ СГОРАНИЯ ЗАБИРАЕТСЯ ИЗ СПЕЦИАЛЬНОГО ПАТРУБКА В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ПЕЧИ. ЗДЕСЬ ЖЕ, В ЗОНЕ 3, ЧАСТИЧНО ИСПАРЯЮТСЯ И РАЗЛАГАЮТСЯ ЖИДКИЕ ПРОДУКТЫ ПИРОЛИЗА В ВИДЕ СМОЛ И НЕНАСЫЩЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ. ЭТИ ГАЗЫ И ОСУЩЕСТВЛЯЮТ НАГРЕВ И ОСУШКУ МАССЫ В ЗОНАХ 2 И 1.**

**ПРИ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ И НЕДОСТАТКЕ ОКИСЛИТЕЛЯ В ЗОНЕ 4 ПРОХОДЯТ РЕАКЦИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ  $CO_2$  В  $CO$  (ТОЖЕ ГОРЮЧИЙ ГАЗ), А ВОДОРОД В СОЕДИНЕНИИ С УГЛЕРОДОМ ДАЕТ МЕТАН. В РЕЗУЛЬТАТЕ СОДЕРЖАНИЕ  $CO_2$  В ВЫХОДНОМ ГОРЮЧЕМ ГАЗЕ ЗАМЕТНО УМЕНЬШАЕТСЯ, А ДОЛЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ.**

**В ЗОНЕ 5, КАК УЖЕ ГОВОРИЛОСЬ, ПРОИСХОДИТ ЧАСТИЧНОЕ ВЫГОРАНИЕ УГЛЕРОДА ИЗ ТВЕРДЫХ ОСТАТКОВ ПИРОЛИЗА. ВЫГОРЕВШИЕ ОСТАТКИ ОБРАЗУЮТ ШЛАК ИЛИ ЗОЛУ, КОТОРЫЕ СКАПЛИВАЮТСЯ В ЗОНЕ 6, А НЕ ВЫГОРЕВШИЕ – ВЫГРУЖАЮТСЯ ИЗ НИЖНЕЙ ЧАСТИ ЗОНЫ 5. В ДАЛЬНЕЙШЕМ ЭТИ УГЛИ МОГУТ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ ДЛЯ СЖИГАНИЯ, НО ЧАЩЕ – ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ, ЭТОГО ВЕСЬМА ПОЛЕЗНОГО И ДОРОГОСТОЯЩЕГО ПРОДУКТА, ПРИМЕНЯЕМОГО ВО МНОГИХ ОТРАСЛЯХ ПРОИЗВОДСТВА, А ТАКЖЕ И ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ.**

**НЕОБХОДИМЫЙ ДЛЯ ГОРЕНИЯ КИСЛОРОД ПОДВОДИТСЯ С ВОЗДУХОМ (ИНОГДА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ГОРЕНИЯ ПОДМЕШИВАЕТСЯ ЕЩЕ ВОДЯНОЙ ПАР) ЧЕРЕЗ СПЕЦИАЛЬНЫЙ ПАТРУБОК. ДЛЯ ПРАВИЛЬНОЙ РАБОТЫ ГАЗИФИКАТОРА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛЕДУЕТ ОПРЕДЕЛЕННЫМ ОБРАЗОМ СОРАЗМЕРИТЬ СКОРОСТЬ ПРОДВИЖЕНИЯ БИОМАССЫ ПО АППАРАТУ, РАСХОД ПОДАВАЕМОГО ВОЗДУХА, СКОРОСТЬ ШЛАКОУДАЛЕНИЯ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТБОРА УГЛЕЙ. ПРИ ЭТОМ РАСХОД ВОЗДУХА ДОЛЖЕН БЫТЬ ТАКИМ, ЧТОБЫ НА ВЫХОДЕ ИЗ ЗОНЫ 4 ВЕСЬ СОДЕРЖАЩИЙСЯ В НЕМ КИСЛОРОД БЫЛ БЫ ИЗРАСХОДОВАН.**

**ПРИ ВОЗДУШНОМ ДУТЬЕ ТОПЛИВНЫЙ ГАЗ ЗАМЕТНО РАЗБАВЛЯЕТСЯ СОДЕРЖАЩИМСЯ В ВОЗДУХЕ АЗОТОМ И ЭТО УМЕНЬШАЕТ ЕГО ТЕПЛОТУ СГОРАНИЯ ( $3 \dots 6$  МДЖ/М<sup>3</sup>), ПОСКОЛЬКУ КАКАЯ-ТО ДОЛЯ ПОЛУЧАЕМОГО ТЕПЛА ИДЕТ НА НАГРЕВ**

АЗОТА И С НИМ ЧАСТИЧНО УХОДИТ ИЗ АППАРАТА. ГОРАЗДО БОЛЬШЕЙ ЭФФЕКТ ДАЕТ ДУТЬЕ ТЕХНИЧЕСКИМ КИСЛОРОДОМ:  $Q_H = 8 \dots 13$  МДЖ/М<sup>3</sup>.

ПОЛУЧЕННЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ГАЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ОХЛАЖДАЕТСЯ И ОЧИЩАЕТСЯ В МОКРОМ СКРУББЕРЕ И ТОЛЬКО ТОГДА ИДЕТ К ПОТРЕБИТЕЛЮ ИЛИ НА ХРАНЕНИЕ. ПРИ ЭТОМ ПАРЫ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ КОНДЕНСИРУЮТСЯ, ОБРАЗУЯ ТОПЛИВНУЮ ЖИДКОСТЬ, СОДЕРЖАЩУЮ КОНЕЧНО ЖЕ ЧАСТИЦЫ ШЛАКА, УГЛИСТОГО ВЕЩЕСТВА И СЫРЬЯ. ТВЕРДЫЕ КОМПОНЕНТЫ ОТДЕЛЯЮТ ФИЛЬТРОВАНИЕМ И ВОЗВРАЩАЮТ В ГАЗИФИКАТОР, А ГОРЮЧУЮ ЖИДКОСТЬ МОЖНО СЖЕЧЬ ИЛИ ПЕРЕРАБОТАТЬ В ТОВАРНЫЙ ДЕГОТЬ.

СУЩЕСТВУЮТ И ДРУГИЕ КОНСТРУКЦИИ ГАЗИФИКАТОРОВ, В КОТОРЫХ, НАПРИМЕР, ПРИМЕНЯЕТСЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ СЫРЬЯ МЕШАЛКАМИ, ИЛИ ПРОЦЕССЫ ИДУТ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ, ИЛИ ВОЗДУШНОЕ ДУТЬЕ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ В РАЗНЫХ ПО ВЫСОТЕ МЕСТАХ ЗОНЫ 5. РАЗРАБОТАН И ОСУЩЕСТВЛЕН И МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА ИЗ БИОМАССЫ. ДЛЯ ЭТОГО БИОМАССА ИЗМЕЛЬЧАЕТСЯ (РАЗМЕРЫ ЧАСТИЦ МЕНЕЕ 0,1 ММ), ВЫСУШИВАЕТСЯ И СМЕШИВАЕТСЯ С ТОПЛИВНОЙ ЖИДКОСТЬЮ. ДАЛЕЕ СУСПЕНЗИЯ (ОКОЛО 30 % ТВЕРДОЙ ФАЗЫ) НАГРЕВАЕТСЯ ДО 300 ... 350 °С ПРИ ДАВЛЕНИИ 15 ... 25 МПА И В ПРИСУТСТВИИ ЩЕЛОЧНОГО КАТАЛИЗАТОРА ВЗАИМОДЕЙСТВУЕТ С ВЫДЕЛИВШИМИСЯ ВОДОРОДОМ И СО ВПЛОТЬ ДО ПОЛНОГО РАСТВОРЕНИЯ БИОМАССЫ. ВЫДЕЛЯЮЩИЕСЯ ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ СЖИГАЮТ ДЛЯ НАГРЕВА РЕАКЦИОННОЙ МАССЫ, А ЖИДКОСТЬ ОЧИЩАЮТ ФИЛЬТРОВАНИЕМ ОТ НЕРАСТВОРИВШИХСЯ ЧАСТИЦ И ИСПОЛЬЗУЮТ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ТИПА НИЗКОСЕРНИСТОГО МАЗУТА С ТЕПЛОТОЙ СГОРАНИЯ 35,6 МДЖ/КГ.

ТЕПЛОВОЙ КПД СОВРЕМЕННЫХ ГАЗИФИКАТОРОВ ДОСТИГАЕТ ВЕЛИЧИНЫ 50 ... 70 %, А АППАРАТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЖИДКИХ ТОПЛИВ – 50 ... 60 %.

ДРУГИМ НАПРАВЛЕНИЕМ ПЕРЕРАБОТКИ БИОМАССЫ ЯВЛЯЕТСЯ АНАЭРОБНАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ. ПРИ ФЕРМЕНТАЦИИ В РЕЗУЛЬТАТЕ БРОЖЕНИЯ И ГНИЕНИЯ ПРОИСХОДИТ ПРЕВРАЩЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ И СВЯЗАННОГО ВОДОРОДА В БИОГАЗ, СОДЕРЖАЩИЙ МЕТАН (ДО 64 %), СВОБОДНЫЙ ВОДОРОД, СО<sub>2</sub>, АЗОТ (В СУММЕ ЭТИ СОСТАВЛЯЮЩИЕ НЕ ПРЕВЫШАЮТ 6 %), И ВЫДЕЛЯЕТСЯ НЕКОТОРОЕ КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ. БИОГАЗ ЯВЛЯЕТСЯ ВЫСОКОКАЛОРИЙНЫМ ТОПЛИВОМ, А СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ОСТАТОК ПОСЛЕ ФЕРМЕНТАЦИИ – ЦЕННЫМ ОРГАНИЧЕСКИМ УДОБРЕНИЕМ. ПРИ ФЕРМЕНТАЦИИ ИСЧЕЗАЕТ НЕПРИЯТНЫЙ ЗАПАХ, ПОГИБАЕТ ПАТОГЕННАЯ МИКРОФЛОРА, А ПОДСУШЕННЫЙ ОСТАТОК ЛЕГКО СКЛАДИРУЕТСЯ, А ТАКЖЕ ТЕРЯЕТ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ ДЛЯ ГРЫЗУНОВ. ВСЕ ЭТО ПОЗВОЛЯЕТ РЕШАТЬ НЕ ТОЛЬКО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ, НО ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ.

ДЛЯ ФЕРМЕНТАЦИИ ГОДЯТСЯ ОСТАТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД, СТОКИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ПТИЦЕФЕРМ, СВЕЖИЙ НАВОЗ, ОТХОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО И ЖИВОТНОГО СЫРЬЯ, ОПИЛКИ И МНОГИЕ ДРУГИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА, В КОТОРЫХ СПОСОБНЫ ЖИТЬ И РАЗМНОЖАТЬСЯ АНАЭРОБНЫЕ БАКТЕРИИ. ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЭТИХ БАКТЕРИЙ ЗАВИСИТ ОТ НАЛИЧИЯ В БИОМАССЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ, ОПРЕДЕЛЕННЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ (ЖЕЛЕЗО, ФОСФОР) И УРОВНЯ КИСЛОТНОСТИ. ПРИ ЭТОМ ВЫСОКАЯ ВЛАЖНОСТЬ СЫРЬЯ ЯВЛЯЕТСЯ В БОЛЬШЕЙ МЕРЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ФАКТОРОМ, НЕЖЕЛИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ, ТАК ЧТО В ОТДЕЛЬНЫХ СЛУЧАЯХ ИСХОДНОЕ СЫРЬЕ ДАЖЕ ПРИХОДИТСЯ УВЛАЖНЯТЬ. ОСОБЕННО ПЕРСПЕКТИВНО ПОЛУЧЕНИЕ БИОГАЗА НА КРУПНЫХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ С ЖИДКИМ НАВОЗОУДАЛЕНИЕМ.

НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ГАЗООБРАЗОВАНИЯ СУЩЕСТВЕННО ВЛИЯЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПРОЦЕССА. ОПТИМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ПРОЦЕССА ЗАВИСИТ ОТ ВИДА МЕТАНОГЕННЫХ БАКТЕРИЙ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В СЫРЬЕ. ТАК ДЛЯ МЕЗОФИЛЬНЫХ БАКТЕРИЙ ЭТО 20 ... 40 °С, А ДЛЯ ТЕРМОФИЛЬНЫХ – 45 ... 70 °С. ИМЕННО ПРИ ТАКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ АКТИВНОСТЬ БАКТЕРИЙ НАИВЫСШАЯ, И ТАКАЯ ТЕМПЕРАТУРА ПОДДЕРЖИВАЕТСЯ В ФЕРМЕНТАЦИОННОМ РЕАКТОРЕ (ЭТОТ АППАРАТ НАЗЫВАЮТ ЕЩЕ ФЕРМЕНТЕРОМ ИЛИ МЕТАНТЕНКОМ). НАЧАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА БИОМАССЫ ВСЕ-

ГДА НИЖЕ ЭТОЙ ОПТИМАЛЬНОЙ, ПОЭТОМУ БИОМАССУ ПОДОГРЕВАЮТ, ОСОБЕННО НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ПРОЦЕССА. ПОДОГРЕВ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ОБЫЧНО С ПОМОЩЬЮ РЕКУПЕРАТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ, УСТАНОВЛЕННЫХ ИЛИ НА ВХОДЕ В ФЕРМЕНТЕР, ИЛИ В ВИДЕ ЗМЕЕВИКА ВНУТРИ АППАРАТА. ГРЕЮЩИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ МОЖЕТ БЫТЬ ГОРЯЧАЯ ВОДА ИЛИ ПАР. ЧАСТЬ ТЕПЛА ПОДВОДИТСЯ С ГОРЯЧЕЙ ВОДОЙ, ПОДАВАЕМОЙ НЕПОСРЕДСТВЕННО В АППАРАТ.

ИЗВЕСТНО ТАКЖЕ СПИРТОВОЕ АНАЭРОБНОЕ БРОЖЕНИЕ БИОМАССЫ, В РЕЗУЛЬТАТЕ КОТОРОГО ОБРАЗУЕТСЯ ЭТИЛОВЫЙ СПИРТ  $C_2H_5OH$  (ЭТАНОЛ). ОБЛАДАЯ ДОСТАТОЧНО ВЫСОКОЙ ТЕПЛОТОЙ СГОРАНИЯ, В НЕКОТОРЫХ СТРАНАХ, ИСПЫТЫВАЮЩИХ ДЕФИЦИТ НЕФТЕПРОДУКТОВ, ЭТАНОЛ ШИРОКО ИСПОЛЬЗУЕТСЯ КАК ЭФФЕКТИВНАЯ ДОБАВКА (ДО 20 % БЕЗ ПЕРЕДЕЛКИ СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПОДАЧИ АВТОМОБИЛЯ) К БЕНЗИНУ, ПОВЫШАЮЩАЯ ОКТАНОВОЕ ЧИСЛО ГОРЮЧЕГО И УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРЕНИЯ.

СУЩЕСТВУЕТ ДВА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ЭТАНОЛА – ХИМИЧЕСКИЙ (НЕФТЬ → ЭТИЛЕН → МЕТАНОЛ) И БИОЛОГИЧЕСКИЙ. В ПОСЛЕДНЕМ СЛУЧАЕ УГЛЕВОДОРОДЫ БИОМАССЫ ПЕРЕВОДЯТСЯ СНАЧАЛА В ГЛЮКОЗУ, А ЗАТЕМ АНАЭРОБНОЙ ФЕРМЕНТАЦИЕЙ – В МЕТАНОЛ. В ДРУГОМ ВАРИАНТЕ (КИСЛОТНЫЙ МЕТОД) СЫРЬЕМ ЯВЛЯЕТСЯ ЦЕЛЛЮЛОЗА, КОТОРУЮ ПУТЕМ ГИДРОЛИЗА ПРЕОБРАЗУЮТ В САХАР, А ИЗ САХАРА АНАЭРОБНЫМ РАЗЛОЖЕНИЕМ ПОЛУЧАЮТ СПИРТ. В НАРОДЕ ПОПУЛЯРЕН И ТРЕТИЙ СПОСОБ – ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ САХАРА В МЕТАНОЛ, ХОТЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ МАСШТАБАХ СПИРТ У НАС ПОЛУЧАЮТ ГИДРОЛИЗНЫМ СПОСОБОМ ИЗ ОПИЛОК, ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА, НИЗКОСОРТНОГО КАРТОФЕЛЯ И КОНЕЧНО ЖЕ ИЗ ОТБОРНОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ, ЧТОБЫ ПОЛУЧИТЬ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКТ НАИВЫСШЕГО КАЧЕСТВА. ПО ТРЕТЬЕМУ СПОСОБУ В ПРОМЫШЛЕННЫХ МАСШТАБАХ МЕТАНОЛ ПОЛУЧАЮТ ИЗ САХАРНОГО ТРОСТНИКА В НЕКОТОРЫХ СТРАНАХ ЮЖНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АМЕРИКИ, ОСОБЕННО В БРАЗИЛИИ, ГДЕ В 1982 Г. ПРОИЗВОДСТВО ТЕХНИЧЕСКОГО ЭТАНОЛА СОСТАВЛЯЛО 6 МЛН. Т.

## 9 Магнитогидродинамические генераторы

**МЫСЛЬ ЧЕЛОВЕЧЬЯ НАМНОГО СЛОЖНЕЙ,  
ЧЕМ ЗНАЮТ У НАС О НЕЙ.**

*В.В. МАЯКОВСКИЙ*

**МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ (МГД-ГЕНЕРАТОРЫ) – ЭТО УСТРОЙСТВА, ПРЕОБРАЗУЮЩИЕ КИНЕТИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО ПОТОКА, ДВИЖУЩЕГОСЯ В ПОПЕРЕЧНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ, НЕПОСРЕДСТВЕННО В ЭЛЕКТРИЧЕСТВО. В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕГО ТЕПЛА ЗДЕСЬ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПЛАЗМА С ТЕМПЕРАТУРОЙ  $T \approx 3000$  К. ПРИ ТАКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ПРОИСХОДИТ ОЧЕНЬ СЛАБАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ИОНИЗАЦИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ, И ДЛЯ ЕЕ УВЕЛИЧЕНИЯ В КАМЕРУ СГОРАНИЯ ВВОДИТСЯ НЕБОЛЬШОЕ КОЛИЧЕСТВО (ОТ 0,1 ДО 1 %) ЛЕГКОИОНИЗИРУЮЩИХСЯ ПРИСАДОК, СОДЕРЖАЩИХ ЩЕЛОЧНЫЕ МЕТАЛЛЫ. ПРИМЕНЕНИЕ МГД-ГЕНЕРАТОРОВ ПОЗВОЛЯЕТ ИСКЛЮЧИТЬ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ СТАДИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ, УВЕЛИЧИТЬ НАЧАЛЬНУЮ ТЕМПЕРАТУРУ РАБОЧЕГО ТЕЛА, А ЗНАЧИТ И КПД УСТАНОВКИ (ДО 40 ... 50, А В ПЕРСПЕКТИВЕ И ДО 60 %) ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ УМЕНЬШЕНИИ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ БЛАГОДАРЯ БОЛЕЕ ПОЛНОМУ СГОРАНИЮ ТОПЛИВА (ГАЗООБРАЗНОГО, ЖИДКОГО ИЛИ, ГОРАЗДО РЕЖЕ, ТВЕРДОГО).**

**КОНСТРУКЦИИ МГД-ГЕНЕРАТОРОВ МОГУ РАЗЛИЧАТЬСЯ ВЕСЬМА ЗНАЧИТЕЛЬНО, НО ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ЭТИХ АГРЕГАТОВ ВСЕГДА ОДИНАКОВА И ОНА НАГЛЯДНО ПРЕДСТАВЛЕНА НА РИС. 9.1.**

**ТОПЛИВО И ПОДОГРЕТЫЙ В РЕГЕНЕРАТОРЕ ВОЗДУХ ВМЕСТЕ С ПРИСАДКАМИ НАПРАВЛЯЮТСЯ В КАМЕРУ СГОРАНИЯ. ЗДЕСЬ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА ДОСТИГАЕТСЯ ТЕМПЕРАТУРА ПОРЯДКА 3000 К, ПРОИСХОДИТ ИОНИЗАЦИЯ**

ГАЗА И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПЛАЗМА ВЫБРАСЫВАЕТСЯ С БОЛЬШОЙ СКОРОСТЬЮ НЕПОСРЕДСТВЕННО В МГД-ГЕНЕРАТОР. ЗДЕСЬ ИОНИЗИРОВАННЫЙ ГАЗ ДВИЖЕТСЯ ВНУТРИ ГЕНЕРАТОРА С ОКОЛОЗВУКОВОЙ СКОРОСТЬЮ (ОКОЛО 1000 М/С) В ПОПЕРЕЧНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА. В СООТВЕТСТВИИ С ЭФФЕКТОМ ХОЛЛА, В ЭТОМ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕМ ПОТОКЕ ВОЗНИКАЕТ ПОПЕРЕЧНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, СНИМАЕМОЕ СПЕЦИАЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ (АНОД И КАТОД), РАСПОЛОЖЕННЫМИ ПО КРАЯМ ПОТОКА. ЧТОБЫ УМЕНЬШИТЬ ПРОДОЛЬНЫЕ ТОКИ, ЭЛЕКТРОДЫ ВЫПОЛНЯЮТСЯ ИЗ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ИЗОЛИРОВАННЫХ СЕКЦИЙ.

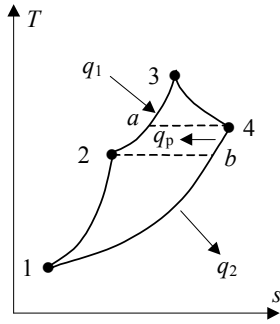


РИС. 9.2  $T-S$

УДЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ МГД-ГЕНЕРАТОРА ПРОПОРЦИОНАЛЬНА КВАДРАТУ СКОРОСТИ ПЛАЗМЫ И КВАДРАТУ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТОМ. ПОЭТОМУ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ БОЛЬШОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ И НУЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ МАГНИТНЫЕ СИСТЕМЫ, КОГДА КАТУШКА ЭЛЕКТРОМАГНИТА ЗАХОЛАЖИВАЕТСЯ ДО КРИОГЕННЫХ ГЕЛИЕВЫХ ТЕМПЕРАТУР (ОКОЛО 4 К). ЭТО КОНЕЧНО ЖЕ НЕПРОСТАЯ ЗАДАЧА, И СИСТЕМА ТАКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ НАИБОЛЬШЕЙ СТОИМОСТЬЮ И МЕТАЛЛОЕМКОСТЬЮ СРЕДИ ДРУГИХ АГРЕГАТОВ МГД-ГЕНЕРАТОРА.

ОСНОВНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ МГД-ГЕНЕРАТОРА ЯВЛЯЕТСЯ КОЭФФИЦИЕНТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНТАЛЬПИИ, ПОКАЗЫВАЮЩИЙ, КАКАЯ ЧАСТЬ ПЕРВОНАЧАЛЬНОЙ СЕКУНДНОЙ ЭНТАЛЬПИИ ПЛАЗМЫ БЫЛА ПРЕОБРАЗОВАНА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ МОЩНОСТЬ. ВЕЛИЧИНА ЭТОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОБЫЧНО ЛЕЖИТ В ПРЕДЕЛАХ 0,3 ... 0,35, ПОЭТОМУ НА ВЫХОДЕ ИЗ МГД-ГЕНЕРАТОРА МЫ ИМЕЕМ ЕЩЕ ВЕСЬМА ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫЙ ПОТОК. ЧТОБЫ ПОВЫСИТЬ ОБЩИЙ КПД УСТАНОВКИ, ЭНЕРГИЯ ЭТОГО ПОТОКА ОБЫЧНО ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ДЛЯ НАГРЕВА ПОСТУПАЮЩЕГО В КАМЕРУ СГОРАНИЯ ВОЗДУХА (С ПОМОЩЬЮ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА – РЕГЕНЕРАТОРА) И ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ПАРА В ДРУГОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ – ПАРОГЕНЕРАТОРЕ. ДАЛЕЕ ПАР КАК ОБЫЧНО НАПРАВЛЯЕТСЯ В ТУРБИНУ, НА ОДНОЙ ОСИ С КОТОРОЙ УСТАНОВЛИВАЕТСЯ И ТУРБОКОМПРЕССОР, ЗАКАЧИВАЮЩИЙ ВОЗДУХ. ТУРБИНА МОЖЕТ ИМЕТЬ ЕЩЕ И ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОР, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ, НАПРИМЕР РАБОТУ ЭЛЕКТРОМАГНИТА И ДРУГИЕ СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ, ИЛИ ДАЖЕ ОТДАЮЩИЙ ЧАСТЬ ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ МОЩНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЮ. ОТРАБОТАННЫЙ ПАР КОНДЕНСИРУЕТСЯ В КОНДЕНСАТОРЕ И ЗАКАЧИВАЕТСЯ ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ НАСОСОМ С НОВА В ПРЯМОТОЧНЫЙ ПАРОГЕНЕРАТОР.

ИДЕАЛИЗИРОВАННЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ МГД-ГЕНЕРАТОРА ПРИВЕДЕН В  $T-S$  КООРДИНАТАХ НА РИС. 9.2. ЗДЕСЬ 1 – 2 – ПРОЦЕСС СЖАТИЯ ВОЗДУХА В КОМПРЕССОРЕ, 2 – 3 – НАГРЕВ ГАЗА И ОБРАЗОВАНИЕ ПЛАЗМЫ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА, 3 – 4 – РАСШИРЕНИЕ ПРИ ТЕЧЕНИИ ПЛАЗМЫ В РАБОЧЕМ КАНАЛЕ ГЕНЕРАТОРА, 4 – 1 – ОХЛАЖДЕНИЕ ПЛАЗМЫ В ТЕПЛООБМЕННИКАХ. ПРИ ЭТОМ ТЕПЛОТА  $Q_p$ , ОТДАВАЕМАЯ НА УЧАСТКЕ 4 – В, ПЕРЕДАЕТСЯ В РЕГЕНЕРАТОРЕ ВОЗДУХУ, ПОСТУПАЮЩЕМУ В КАМЕРУ СГОРАНИЯ (ПРОЦЕСС 2 – А). ТЕРМИЧЕСКИЙ КПД ЦИКЛА КАК ВСЕГДА ОПРЕДЕЛИТСЯ СООТНОШЕНИЕМ

$$\eta_T = 1 - Q_2 / Q_1,$$

ГДЕ КОЛИЧЕСТВО ПОДВЕДЕННОГО ЗА ЦИКЛ ТЕПЛА ВЫРАЖАЕТСЯ СУММОЙ ТЕПЛОТ, ПОДВЕДЕННЫХ В КОМПРЕССОРЕ  $Q_k$ , РЕГЕНЕРАТОРЕ  $Q_p$  И ЗА СЧЕТ ДЖОУЛЕВА НАГРЕВА ПЛАЗМЫ ПРИ ЕЕ ТЕЧЕНИИ  $Q_{п.}$ . УЧИТЫВАЯ, ЧТО ВСЕ ЭТИ ПРОЦЕССЫ ИДУТ ПРИ  $P = \text{CONST}$ , МОЖЕМ ЗАПИСАТЬ:

$$Q_1 = C_p(T_2 - T_1)(1 - \eta_k) + C_p(T_4 - T_2)\delta_p + C_p(T_3 - T_4)[1 - (\eta_{\text{э}} - \xi)] / (\eta_{\text{э}} - \xi),$$

ГДЕ  $\eta_k$  – МЕХАНИЧЕСКИЙ КПД КОМПРЕССОРА;  $\delta_p$  – СТЕПЕНЬ РЕГЕНЕРАЦИИ В РЕГЕНЕРАТОРЕ;  $\eta_{\text{э}}$  – ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КПД МГД-ГЕНЕРАТОРА;  $\xi$  – КОЭФФИЦИЕНТ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ТЕПЛОПТЕРИ РАБОЧЕГО КАНАЛА. КОЛИЧЕСТВО ОТВЕДЕННОЙ ТЕПЛОТЫ ТАКЖЕ НАЙДЕТСЯ ЧЕРЕЗ ТЕПЛОЕМКОСТЬ

$$Q_2 = C_p(T_4 - T_1).$$

ТОГДА, ЕСЛИ УЧИТЫВАТЬ, ЧТО ТЕПЛОЕМКОСТЬ РАБОЧЕГО ТЕЛА МАЛО ЗАВИСИТ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ЕЕ МОЖНО ПРИНИМАТЬ ОДИНАКОВОЙ ДЛЯ ВСЕХ ПРОЦЕССОВ, ПОЛУЧАЕМ

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 - T_1}{(T_2 - T_1)(1 - \eta_k) + \delta_p(T_4 - T_2) + (T_3 - T_4)[1 - (\eta_{\text{э}} - \xi)] / (\eta_{\text{э}} - \xi)}.$$

УСТАНОВКИ С МГД-ГЕНЕРАТОРОМ МОГУТ РАБОТАТЬ И ПО ОТКРЫТОМУ ЦИКЛУ, КАК ПОКАЗАНО НА РИС. 9.1, НО ОБЫЧНО ПРОДУКТЫ СГОРАНИЯ ПОСЛЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ИХ ТЕПЛА ПОДВЕРГАЮТСЯ СЕПАРАЦИИ И СОДЕРЖАЩИЕСЯ В НИХ ИОНИЗИРУЮЩИЕ ПРИСАДКИ ВОЗВРАЩАЮТСЯ СНОВА В КАМЕРУ СГОРАНИЯ.

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ МГД-ГЕНЕРАТОРЫ НАЧИНАЮТ ВСЕ ШИРЕ ПРОНИКАТЬ В «БОЛЬШУЮ» ЭНЕРГЕТИКУ. КРОМЕ ТОГО РАЗРАБОТАНЫ УСТАНОВКИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИМПУЛЬСНЫМИ МГД-ГЕНЕРАТОРАМИ, КОТОРЫЕ СПОСОБНЫ КРАТКОВРЕМЕННО, ЗА 2 ... 100 С РАЗВИТЬ МОЩНОСТЬ ДО 100 МВТ. ТАКИЕ УСТАНОВКИ ПРИМЕНЯЮТСЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ФОРСИРОВАННЫХ РЕЖИМАХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ, НА ПОДВОДНЫХ И НАДВОДНЫХ МОРСКИХ СУДАХ И ДР.

10 Термоядерная энергетика

**ЗАВТРА И ПОСЛЕЗАВТРА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА НАЧИНАЮТСЯ СЕГОДНЯ.**

*аКАДЕМИК Ж.И. АЛФЕРОВ*

ЗВЕСТНЫ ДВА НАПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ, ОСНОВАННЫЕ И НА ДЕЛЕНИИ (РАСПАДЕ) АТОМНЫХ ЯДЕР ИЛИ СИНТЕЗЕ НОВОГО ЯДРА ИЗ СЛИВШИХСЯ ДВУХ БОЛЕЕ ПРОСТЫХ ЯДЕР. ПЕРВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ УЖЕ НАШЛО ШИРОКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ, ГДЕ РЕАЛИЗУЕТСЯ ДЕЛЕНИЕ АТОМНЫХ ЯДЕР УРАНА. В МИРЕ РАБОТАЮТ БОЛЕЕ ЧЕТЫРЕХСОТ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ОБЩЕЙ МОЩНОСТЬЮ ПОЧТИ 350 ГВТ, ЧТО СОСТАВЛЯЕТ БОЛЕЕ 4 % МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. В НЕКОТОРЫХ СТРАНАХ ЭТИ СТАНЦИИ СТАЛИ ВЕДУЩЕЙ ОТРАСЛЬЮ ЭНЕРГЕТИКИ. ВО ФРАНЦИИ ОНИ ДАЮТ 75 % ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ ЭНЕРГИИ, В БЕЛЬГИИ – 58 %, В ЯПОНИИ – 35 %. В РОССИИ ЭТОТ ПОКАЗАТЕЛЬ ПОКА РАВЕН

14 %, НО ВЕРИТСЯ, ЧТО УРОКИ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ТРАГЕДИИ, СИЛЬНО ЗАТОРМОЗИВШЕЙ РАЗВИТИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В НАШЕЙ СТРАНЕ, НЕ ПРОЙДУТ БЕССЛЕДНО, И ОТЕЧЕСТВЕННАЯ АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА УЖЕ НА НОВОЙ СОВРЕМЕННОЙ ОСНОВЕ ВНОВЬ ЗАЙМЕТ ВЕДУЩИЕ ПОЗИЦИИ В МИРЕ.

ОДНИМ ИЗ ГЛАВНЫХ ДОСТОИНСТВ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ СЛЕДУЕТ НАЗВАТЬ ТО, ЧТО КАЖДЫЙ УЧАСТВУЮЩИЙ В ДЕЛЕ АТОМ ОТДАЕТ В МИЛЛИОНЫ РАЗ БОЛЬШЕ ЭНЕРГИИ, ЧЕМ ПРИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЯХ. ВТОРОЕ ДОСТОИНСТВО – ЗАПАСЫ

ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ДОСТАТОЧНО ВЕЛИКИ, А ДЛЯ ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА, КОТОРЫЙ СЕГОДНЯ МЫСЛИТСЯ ТОЛЬКО КАК СЛИЯНИЕ ДВУХ АТОМОВ ВОДОРОДА (ТОЧНЕЕ ЕГО ИЗОТОПОВ), ПРАКТИЧЕСКИ НЕОГРАНИЧЕНЫ, КАК ЭТО УЖЕ ОТМЕЧАЛОСЬ ВЫШЕ. ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ ОБЕСПЕЧИВАЕТ ВЫДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ВО МНОГО РАЗ БОЛЬШЕЙ, ЧЕМ ДЕЛЕНИЕ УРАНОВОГО ЯДРА, ПРИ ЭТОМ ОН НЕ СОПРОВОЖДАЕТСЯ ОБРАЗОВАНИЕМ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ.

С ИЛОЙ ТОЛЬКО ПРЕОДОЛЕТЬ ЗИТЬСЯ НА УЖЕ ЯДЕРНЫЕ ОКОЛО  $10^{-13}$  ВОЗНИКАЛИ БОМБЫ, БОМБЫ ЭНЕРГЕТИКИ

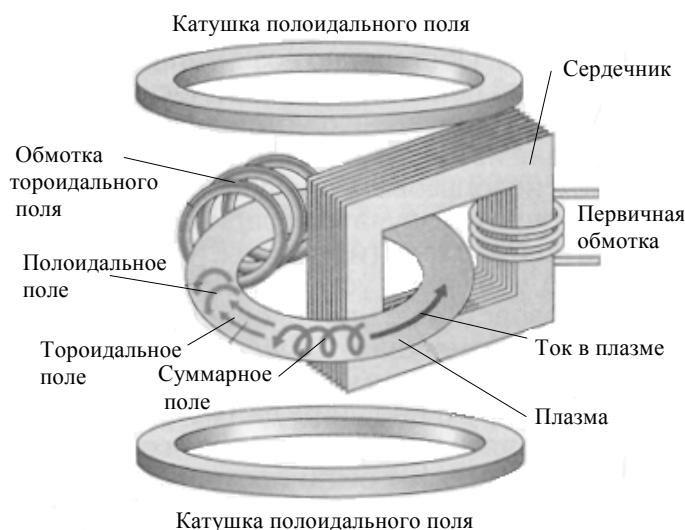
Рис. 10.1 Принципиальная схема ТОКАМАКА

СТОЛКНУТЬ ЭТИ ДВА ЯДРА. ТОГДА ОНИ СМОГУТ ВЗАИМНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОТТАЛКИВАНИЕ И СБЛИТАКОЕ РАССТОЯНИЕ, КОГДА НАЧИНАЮТ ДЕЙСТВОВАТЬ СИЛЫ ПРИТЯЖЕНИЯ (ЭТО СМ). ТАКИЕ СИЛЫ ПРИ ВЗРЫВЕ АТОМНОЙ КОТОРАЯ И ПОСЛУЖИЛА «ДЕТОНАТОРОМ» ДЛЯ ВОДОРОДНОЙ. НО ДЛЯ ВЗРЫВ НАДО ЗАМЕНИТЬ МЕДЛЕННЫМ «ГОРЕНИЕМ» С НЕПРЕРЫВНЫМ ВЫДЕЛЕНИЕМ ЭНЕРГИИ. ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

ДЛЯ ВОДОРОДНЫЙ ГАЗ (НА САМОМ ДЕЛЕ ЭТО СМЕСЬ ИЗОТОПОВ ТЯЖЕЛОГО ВОДОРОДА – ДЕЙТЕРИЯ  $D = {}^2H$  И СВЕРХТЯЖЕЛОГО ВОДОРОДА – ТРИТИЯ  $T = {}^3H$ ) НУЖНО НАГРЕТЬ ДО ТЕМПЕРАТУРЫ В СОТНИ МИЛЛИОНОВ ГРАДУСОВ, КОГДА АТОМЫ СБРАСЫВАЮТ СВОИ ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБОЛОЧКИ И ВОЗНИКАЕТ ПЛАЗМА – ОПРЕДЕЛЕННАЯ СМЕСЬ СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И СВОБОДНЫХ АТОМНЫХ ЯДЕР. С РОСТОМ ТЕМПЕРАТУРЫ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ И КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ЧАСТИЦ, А ЗНАЧИТ И ВОЗРАСТАЕТ ВЕРОЯТНОСТЬ СЛИЯНИЯ ВОДОРОДНЫХ ЯДЕР. В ЛАБОРАТОРНЫХ УСТАНОВКАХ, НА КОТОРЫХ МОДЕЛИРУЮТСЯ ЭТИ ПРОЦЕССЫ, ПЛАЗМА ИМЕЕТ ТЕМПЕРАТУРУ 50 ... 100 МИЛЛИОНОВ ГРАДУСОВ, А В ПЕРСПЕКТИВЕ РЕЧЬ ИДЕТ О 150 ... 200 МИЛЛИОНАХ.

ЧТОБЫ ПОЛУЧИТЬ, А ГЛАВНОЕ – УДЕРЖАТЬ И СДЕЛАТЬ УСТОЙЧИВЫМ ПЛАЗМЕННОЕ ОБЛАКО, ПРИШЛОСЬ ПРЕОДОЛЕТЬ ОЧЕНЬ МНОГО ПРОБЛЕМ, СВЯЗАННЫХ С УСЛОВИЯМИ НАГРЕВА, ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ И ДР. ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ В РЕШЕНИИ ЭТОЙ ЗАДАЧИ БЫЛ РЕАЛИЗОВАН В УСТАНОВКАХ, ПОЛУЧИВШИХ НАЗВАНИЕ ТОКАМАК (ТОРОИДАЛЬНАЯ КАМЕРА С МАГНИТНОЙ КАТУШКОЙ). ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ЭТОГО РЕАКТОРА ПОКАЗАНА НА РИС. 10.1. ЗДЕСЬ В ТОРОИДАЛЬНОМ ПЛАЗМЕННОМ СГУСТКЕ СОЗДАЕТСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК И ОН САМ СТАНОВИТСЯ КАК БЫ МАГНИТОМ С СОБСТВЕННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ. ЭТО

ПОЗВОЛИЛО С ПОМОЩЬЮ ВНЕШНИХ МАГНИТОВ, СОЗДАЮЩИХ ПОЛОИДАЛЬНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ, ПОДВЕШИВАТЬ ПЛАЗМЕННОЕ ОБЛАКО В ЦЕНТРЕ КАМЕРЫ, НЕ ПОЗВОЛЯЯ ЕМУ СОПРИКАСАТЬСЯ С ЕЕ СТЕНКАМИ, ОБЕСПЕЧИВАЯ ТЕМ САМЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ И ТЕПЛОВУЮ ИЗОЛЯЦИЮ ПЛАЗМЫ.



**ИЗ КАМЕРЫ ОТКАЧИВАЮТ ВОЗДУХ, А ЗАТЕМ ЗАПОЛНЯЮТ ЕЕ ДЕЙТЕРИЙ-ТРИТИЕВОЙ СМЕСЬЮ. ДАЛЕЕ ВКЛЮЧАЮТ ПИТАНИЕ ПЕРВИЧНОЙ ОБМОТКИ ТРАНСФОРМАТОРА И, ПОСКОЛЬКУ В ЛЮБОМ ГАЗЕ ВСЕГДА ЕСТЬ СВОБОДНЫЕ ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ (ИОНЫ И ЭЛЕКТРОНЫ), В СМЕСИ, КАК В КОРОТКОЗАМКНУТОЙ ВТОРИЧНОЙ ОБМОТКЕ ТРАНСФОРМАТОРА, ВОЗНИКАЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК, РАЗОГРЕВАЮЩИЙ СМЕСЬ. КОЛИЧЕСТВО ИОНИЗИРОВАННЫХ АТОМОВ РАСТЕТ, СИЛА ТОКА И РАЗОГРЕВ СМЕСИ УВЕЛИЧИВАЮТСЯ, ПОВЫШАЕТСЯ ЕЕ ТЕМПЕРАТУРА, СМЕСЬ ПРЕВРАЩАЕТСЯ В ПЛАЗМУ И НАЧИНАЕТСЯ СИНТЕЗ ЯДЕР ГЕЛИЯ. ТАКОЙ РЕЗИСТИВНЫЙ НАГРЕВ ПОЗВОЛЯЕТ ПОЛУЧИТЬ НАЧАЛЬНУЮ ПЛАЗМУ. ЧТОБЫ УВЕЛИЧИТЬ ЕЕ ТЕМПЕРАТУРУ, СДЕЛАТЬ ПЛАЗМЕННОЕ ОБЛАКО УСТОЙЧИВЫМ (А ЭТО ОДНА ИЗ САМЫХ ТРУДНО РЕШАЕМЫХ ПРОБЛЕМ), ПРИМЕНЯЮТ МОЩНЫЕ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ, ПЕРЕДАЮЩИЕ ЭНЕРГИЮ ЧЕРЕЗ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ОБМОТКИ ТОРОИДАЛЬНОГО ПОЛЯ.**

**РАЗРАБОТАНЫ РАЗЛИЧНЫЕ ВАРИАНТЫ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ, ОТЛИЧАЮЩИХСЯ ПО СПОСОБУ УДЕРЖАНИЯ ПЛАЗМЫ (С МАГНИТНЫМ, КАК В ТОКАМАКЕ ИЛИ С ИНЕРЦИОННЫМ УДЕРЖАНИЕМ), ПО УСЛОВИЯМ НАГРЕВА ПЛАЗМЫ (С РЕЗИСТИВНЫМ НАГРЕВОМ, С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ВОЛНОВЫМ НАГРЕВОМ, С НАГРЕВОМ ЛАЗЕРНЫМ ЛУЧОМ И Т.П.), ПО ОСОБЕННОСТЯМ ПРОТЕКАНИЯ РЕАКЦИИ ПО ВРЕМЕНИ (СТАЦИОНАРНЫЕ, ИМПУЛЬСНЫЕ, КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЕ) И ДР. ПРИ ЭТОМ РЕШЕНЫ ИЛИ ПРИБЛИЖАЮТСЯ К РЕШЕНИЮ ВОПРОСЫ ОТКАЧКИ ПРОДУКТОВ ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА, ОТВОДА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЫДЕЛЯЮЩЕЙСЯ ЭНЕРГИИ, ПОДБОРА СПЕЦИАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕНИЯ В НЕОБХОДИМЫХ МАСШТАБАХ ДЕЙТЕРИЯ И ТРИТИЯ И МНОГИЕ-МНОГИЕ ДРУГИЕ.**

**КРУПНЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ТОКАМАКИ БЫЛИ ПОСТРОЕНЫ В РОССИИ, ЯПОНИИ, США, ФРАНЦИИ И ДРУГИХ СТРАНАХ. УДАЛОСЬ ВЫЯВИТЬ, ЧТО УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛАЗМЫ ВОЗРАСТАЕТ С УВЕЛИЧЕНИЕМ РАЗМЕРОВ УСТАНОВКИ. КРУПНЕЙШАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ УСТАНОВКА ИМЕЕТ ТОРОИДАЛЬНУЮ КАМЕРУ С ВНЕШНИМ ДИАМЕТРОМ 5 М.**

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАЛИ, ЧТО НАСТАЛО ВРЕМЯ РАЗРАБАТЫВАТЬ УСТАНОВКУ, МАКСИМАЛЬНО ПРИБЛИЖЕННУЮ К РЕАЛЬНОМУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ЯДЕРНОМУ РЕАКТОРУ. ТАКИЕ РАБОТЫ НЕ ПОД СИЛУ ОТДЕЛЬНЫМ, ПУСТЬ ДАЖЕ ОЧЕНЬ ЭКОНОМИЧЕСКИ СИЛЬНЫМ ГОСУДАРСТВАМ. ПОНИМАНИЕ ЭТОГО И ПРИВЕЛО К СОЗДАНИЮ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ПРОГРАММЫ «INTERNATIONAL THERMONUCLEAR EXPERIMENTAL REACTOR» ПОД ЭГИДОЙ МАГАТЭ, В РАМКАХ КОТОРОЙ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ПРОВОДЯТСЯ БОЛЬШИЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И СОЗДАЕТСЯ ДЕЙСТВУЮЩИЙ РЕАКТОР. ПОРАЖАЮТ РАЗМЕРЫ ТОРОИДАЛЬНОЙ КАМЕРЫ ЭТОГО ТОКАМАКА: ВЫСОТА КАМЕРЫ 15 М, ШИРИНА – 9 М, НАРУЖНЫЙ ДИАМЕТР – ОКОЛО 20 М.**

**КОНЕЧНО ЖЕ, УПРАВЛЯЕМЫЙ ТЕРМОЯД ЕЩЕ 20 – 30 ЛЕТ БУДЕТ ОСТАВАТЬСЯ ПРЕДМЕТОМ ИССЛЕДОВАНИЙ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК И ПРОЕКТОВ. НО ПО ПРОСЧИТАННЫМ ПРОГНОЗАМ ЭТОТ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЧЕРЕЗ НЕСКОЛЬКО ДЕСЯТИЛЕТИЙ СТАНЕТ РАБОТАЮЩЕЙ РЕАЛЬНОСТЬЮ, СПОСОБНОЙ ЗАМЕНИТЬ НЫНЕШНИЕ ТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ. И ТОГДА ДЛЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА НАСТУПИТ ЭРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИЗОБИЛИЯ. «ЖАЛЬ ТОЛЬКО ЖИТЬ В ЭТУ ПОРУ ПРЕКРАСНУЮ УЖ НЕ ПРИДЕТСЯ НИ МНЕ, НИ ТЕБЕ».**

## **11 Повышение качества низкопотенциальной энергии**

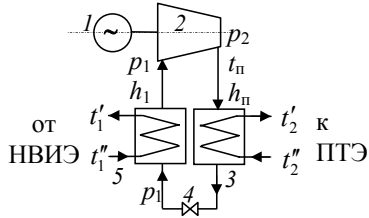
Многие великие истины были вначале кощунством.

*Б. Шоу*

**О**

кружающий нас мир наполнен океанами энергии. Проблема только в том, что это энергия низкого качества, низкопотенциальная энергия, использовать которую для получения теплоты или работы (а значит, и электроэнергии) невозможно. Повышением качества, облагораживанием энергии называют

повышение ее потенциала путем повышения температуры или давления рабочего тела. Выше уже



**Рис. 11.1** Схема теплового насоса:

1 – электродвигатель; 2 –

Цикл теплового насоса подробно изучался в разделе «Термодинамика» теоретических основ теплотехники. Здесь же мы обратим внимание на прикладную сторону применения этих машин.

Упрощенная схема, отражающая все основные устройства и агрегаты, приведена на рис. 11.1. Если за источник теплоты принимать некий нетрадиционный возобновляемый источник энергии (НВИЭ) со сравнительно низким температурным уровнем, то с помощью теплового насоса можно забрать теплоту этого источника, повысить ее качество (увеличив температуру) и отдать это тепло потребителю. Поясним работу этой установки по приведенной схеме.

В качестве рабочего тела здесь используется легкокипящая жидкость, например хладон или аммиак. С помощью приводимого электродвигателем компрессора рабочее тело в газообразной фазе засасывается и адиабатически сжимается в компрессоре, в результате чего давление и температура рабочего тела заметно увеличивается. Сжатый и нагретый пар направляется из компрессора в теплообменник-конденсатор, где отдает часть своего тепла, нагревая теплоноситель, направляемый потребителю тепловой энергии (ПТЭ). Температура этого теплоносителя на входе и выходе из конденсатора должна оставаться ниже температуры насыщения рабочего тела при давлении  $p_2$ . Образовавшийся конденсат под высоким давлением направляется в дроссельное устройство, где и дросселируется до давления  $p_1$ . Применяемые в качестве рабочих тел вещества обладают большим положительным дифференциальным дроссель-эффектом, они существенно захлаживаются при дросселировании. Захлаженная жидкость направляется в другой теплообменник, работающий как парогенератор, где получая тепло от НВИЭ, подогревается до температуры насыщения и далее полностью испаряется. Образовавшийся пар с параметрами  $p_1, t_1$  и  $h_1$  снова засасывается в компрессор и цикл повторяется.

Количество тепла, получаемого от НВИЭ за единицу времени, определяется теплоемкостью  $c_p$ , расходом  $M$  и изменением температуры этого холодного теплоносителя

$$Q_1 = M_1 c_p (t_1' - t_1''),$$

где  $t_1'$  и  $t_1''$  – температуры первичного теплоносителя на входе и выходе из парогенератора. Понятно, что для интенсивного кипения жидкости давление  $p_1$  должно быть таким, чтобы температура насыщения рабочего тела была намного ниже, чем температуры  $t_1'$  и  $t_1''$ . Количество образовавшегося пара будет

$$D = \frac{Q_1}{h_{п1} - h_{ж}},$$

где  $h_{п1}$  и  $h_{ж}$  – энтальпии пара на выходе из парогенератора и жидкости на его входе. На такой расход и подбирается компрессор установки.

Работа компрессора найдется как работа цикла и определится разницей подведенного и отведенного за цикл тепла

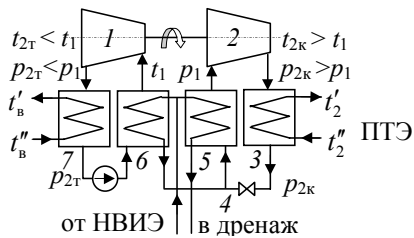
$$L = L_{ц} = Q_{ц} = Q_1 - Q_2 = D(h_{п1} - h_{ж}) - D(h_{п2} - h_{ж}) = D(h_{п2} - h_{п1}),$$

где  $h_{п2}$  – энтальпия перегретого пара на выходе из компрессора. Тепло, отдаваемое потребителю (без учета теплотерь по дороге), определится разницей энтальпий рабочего тела на входе и на выходе конденсатора

$$Q_2 = D(h_{п2} - h_{ж}),$$

приводились примеры повышения качества энергии путем нагрева рабочих тел солнечными лучами или повышения давления газа за счет перемещения морских волн и др. Теперь же рассмотрим специальные технические устройства типа тепловых насосов и термотрансформаторов, предназначенные для решения поставленной задачи.

Тепловой насос – это установка, работающая по холодильному циклу, у которой за счет подводимой к рабочему телу работы теплота переносится с нижнего температурного уровня на верхний, тем самым повышая качество энергии рабочего тела.



**Рис. 11.2** Схема повышающего термотрансформатора:

1 – турбина, 2 – компрессор

где  $h_{п2}$  – энтальпия перегретого пара на выходе из компрессора. Если температуры  $t'_2$  и  $t''_2$  рабочего теплоносителя заданы, то легко рассчитать и его расход

$$G_2 = \frac{Q_2}{c_{p2}(t'_2 - t''_2)}.$$

Таким образом, количество тепла, отдаваемое тепловым насосом при более высокой температуре, чем температура подводимого тепла, будет

$$Q_2 = Q_1 + L.$$

**КОЭФФИЦИЕНТ ЭФФЕКТИВНОСТИ (ОТОПИТЕЛЬНЫЙ КПД) ТЕПЛООВОГО НАСОСА ВСЕГДА БОЛЬШЕ ЕДИНИЦЫ И ПОКАЗЫВАЕТ, СКОЛЬКО ТЕПЛОТЫ ПОЛУЧАЕТ ПОТРЕБИТЕЛЬ НА ЕДИНИЦУ ЗАТРАЧЕННОЙ РАБОТЫ**

$$\eta_{от} = Q_2/L > 1,0.$$

В сфере теплоснабжения тепловые насосы позволяют добиваться существенных экономических выгод. Так, если  $\eta_{от} = 7$  (а это среднестатистическая величина для современных тепловых насосов), то это означает, что на получение теплоты, отдаваемой потребителю, теоретически тратится в 7 раз меньше электрической энергии, чем пошло бы ее при электронагреве этого теплоносителя. Подробный эксергетический анализ цикла теплового насоса показывает, что этот положительный эффект достигается за счет значительного уменьшения качества потребляемой для привода компрессора энергии. Будем считать, что эксергетический КПД электроэнергии равен 99,9 %, т.е. что практически вся она трансформируется в работу  $L_{ц}$ . Теплота же  $Q_2$ , отдаваемая потребителю при сравнительно невысоких температурах (в среднем 70 °С), а значит и она, и та ее составляющая, которая возникла за счет трансформации  $L_{ц}$ , имеет очень низкий коэффициент качества и никак не может быть использована для получения, например, снова работы или электроэнергии. Поэтому некоторые изобретения, в которых предлагается именно таким образом использовать тепловые насосы, не могут дать эффективного теплового двигателя, как объявляется их авторами.

Отказаться от внешнего источника работы для привода компрессора можно в специальном повышающем термотрансформаторе, схема которого приведена на рис. 11.2. Здесь реализуется простая в общем-то идея: низкопотенциальное тепло от НВИЭ использовать не только как источник тепла для теплового насоса, но и, применяя низкокипящие жидкости, для работы специального турбокомпрессора, сжимающего газ в тепловом насосе. Так что в термотрансформаторе одновременно реализуются прямой тепловой (левая часть схемы) и обратный холодильный (правая часть) циклы.

Исходный низкопотенциальный теплоноситель с температурой  $t'_1$  направляется частично в парогенератор теплового насоса, а частично – в другой парогенератор, где отдает большую часть своего тепла на разогрев и испарение, например хладона. Высокое давление этого рабочего тела создается насосом, закачивающим жидкость из конденсатора. С достаточно высокой температурой и давлением пар поступает в турбину, где адиабатически расширяясь, совершает механическую работу. Компрессор теплового насоса установлен на одной оси с этой турбиной и работа турбины затрачивается на сжатие там газа до более высоких параметров. Отработанный пар из турбины поступает в конденсатор, где отдает свое тепло охлаждающему теплоносителю (например, воде). При этом температуры этого теплоносителя должны быть обязательно меньше, чем температура насыщения рабочего тела теплового цикла при давлении  $p_{2т}$ . На оси турбины может быть установлен и электрогенератор, обеспечивающий привод питающего насоса или даже еще большую мощность для электроснабжения потребителей, но конечно же при этом заметно уменьшится производительность по теплу теплового насоса. Таким образом, термотрансформатор может работать полностью автономно, обеспечивая нормальное качество теплоснабжения и даже электроснабжения при наличии НВИЭ с большим допустимым расходом (например, термальные воды при  $t = 25$  °С с достаточно большим дебитом).

## 12 Утилизация вторичных энергетических ресурсов

### 12.1 Особенности и структура вторичных энергоресурсов

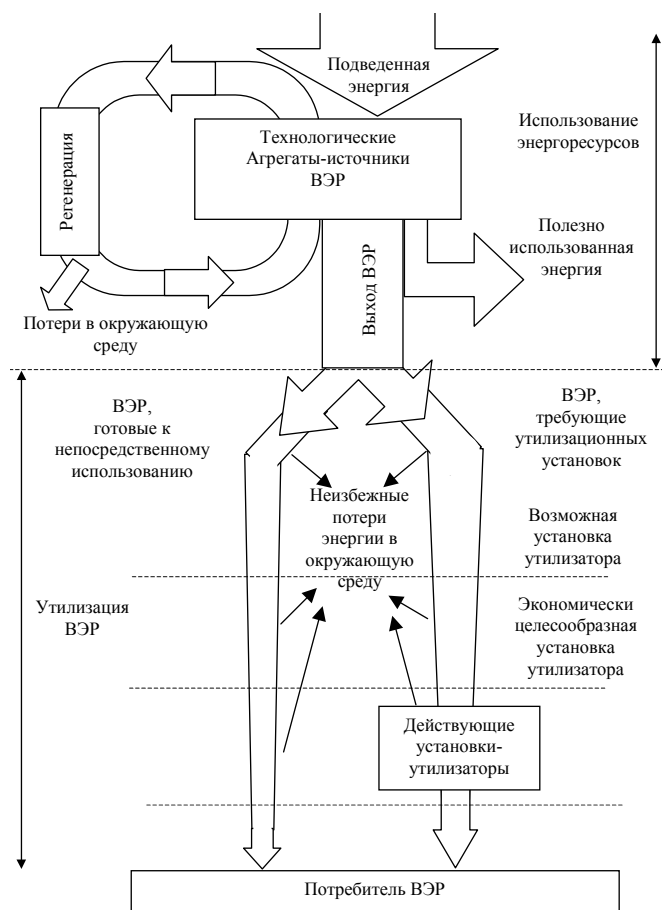


Рис. 12.1 Принципиальная схема появления и использо-

общая схема образования и утилизации ВЭР, наглядно демонстрирующая возможности и особенности эффективного использования вторичных энергоресурсов применительно к любой производственной отрасли. Из рисунка видно, что в любом случае подводимая извне энергия лишь частично расходуется непосредственно для выработки целевого продукта (т.е. используется полезно). Большая часть ее возвращается в окружающую среду, если не рассматривать эту часть как ВЭР и не принимать мер к утилизации этой энергии. Несколько снизить поток сбрасываемой энергии, а значит, повысить тепловой КПД технологической установки удастся благодаря регенерации части этой энергии непосредственно в самой установке. Для этого установка должна быть оборудована неким регенератором рекуперативного или регенеративного типа.

Экономическая целесообразность утилизации ВЭР определяется как их потенциальным уровнем (температура, давление и др.), так и их количеством. Понятно, что при малом количестве ВЭР, например при работе электродвигателя, их утилизация становится экономически неоправданной. Зато при очень больших объемах ВЭР экономически выгодно утилизировать их даже при довольно низком потенциале, например тепло, уносимое с воздухом при вентиляции крупных производственных зданий.

По видам энергии вторичные энергоресурсы разделяются на топливные, тепловые и ВЭР избыточного давления. К топливным ресурсам относится химическая энергия отходов технологических процессов термохимической переработки углеродистого или углеводородного сырья, побочных горючих газов плавильных печей (доменное производство, шахтные печи, конвекторы, вагранки) и др., которые не используются непосредственно в данном технологическом процессе. Тепловые ВЭР – это физическая теплота основной, побочной, промежуточной продукции, теплота отходящих газов или теплота рабочих тел системы принудительного охлаждения установок, теплота воды или пара, отработанных в технологических

и силовых установках. Вторичным энергоресурсом является и энергия давления сжатых газов или жидкостей, которое по технологическим условиям должны быть понижено перед последующим использованием или перед выбросом в окружающую среду. Примером может служить технология

**О МНОГИХ ОТРАСЛЯХ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИЯ, ПОБОЧНЫЕ ИЛИ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ, ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА НА ВЫХОДЕ ИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ИМЕЮТ ЕЩЕ ДОСТАТОЧНО ВЫСОКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ, КОТОРЫЙ НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ В САМОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ АГРЕГАТЕ, НО МОЖЕТ БЫТЬ ЧАСТИЧНО ИЛИ ПОЛНОСТЬЮ ИСПОЛЬЗОВАН ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ДРУГИХ ОБЪЕКТОВ. ЭНЕРГИЮ ЭТИХ МАСС И НАЗЫВАЮТ ВТОРИЧНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ (ВЭР). РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЭР ЯВЛЯЕТСЯ ОДНИМ ИЗ КРУПНЕЙШИХ РЕЗЕРВОВ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА, СПОСОБСТВУЮЩИХ СНИЖЕНИЮ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОДУКЦИИ.**

Ниже на рис. 12.1 приведена

транспортировки природного газа на дальние расстояния. В магистральных трубопроводах давление газа достаточно высокое (порядка 4 МПа), а для потребителей оно снижается, обычно дросселированием, до среднего (0,2 МПа) или низкого (0,01 ... 0,015 МПа) давлений. Установка вместо дросселирующих устройств специального турбодетандра с электрогенератором позволила бы преобразовать располагаемый перепад энтальпий газа в механическую работу и далее – в электроэнергию.

Утилизация ВЭР может осуществляться как по одному из направлений, например тепловая утилизация, так и комплексно, по всем видам ресурсов. Топливные ВЭР могут быть использованы в качестве специфического топлива на все 100 %. Тепловые ВЭР обычно используются для выработки горячей воды или пара и количество получаемой здесь теплоты в общем случае определяется по формуле

$$Q_{\tau} = (h_1 M_1 - h_2 M_2) \beta (1 - \xi),$$

где  $M_1$  и  $M_2$  – массовые расходы энергоносителей на входе в утилизатор и на выходе из него;  $h_1$  и  $h_2$  – энтальпии энергоносителя соответственно на выходе из технологической установки (при температуре  $t_1$ ) и на выходе из утилизатора (при температуре  $t_2 > t_1$ );  $\beta$  – коэффициент, учитывающий несоответствие режимов и числа часов работы источника ВЭР и утилизатора;  $\xi$  – коэффициент тепловых потерь утилизатора в окружающую среду.

Структура ВЭР отличается разнообразием. Наибольшими тепловыми ВЭР располагают предприятия черной и цветной металлургии, химической и нефтехимической промышленности, промышленности строительных материалов, тяжелого машиностроения, газовой промышленности и некоторых других отраслей народного хозяйства. Здесь характерны технологические процессы с использованием теплоты высокого потенциала (свыше 600 °С), получаемой в топочных устройствах или непосредственно в технологических агрегатах за счет сжигания топлив или электронагрева. Доля высокопотенциальной теплоты составляет около 26 % в общем расходе теплоты и почти 90 % ее используется в промышленном производстве: около 33 % – на плавку, 40 % – на нагрев, 20 % – на обжиг руд и минерального сырья.

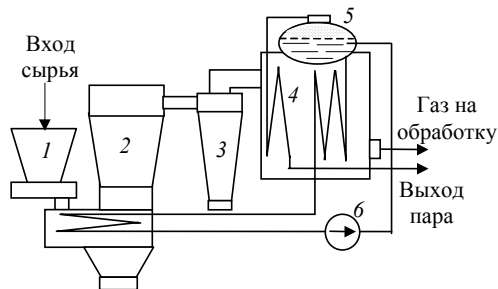
Примерно 52 % всей полезной энергии расходуется в виде теплоты среднего (400 ... 150 °С) или низкого (150 ... 50 °С) потенциала, на получение которой тратится до 38 % топливно-энергетических ресурсов. При этом около 90 % этой энергии потребляется в промышленности (45 %) и жилищно-коммунальном хозяйстве (49 %), и основными энергоносителями здесь являются пар или горячая вода.

Важнейшей задачей совершенствования технологических процессов в любой отрасли промышленности является по возможности полное выявление резервов, связанных с ВЭР, и использование их с учетом экономической и экологической целесообразности. В этом направлении в отдельных отраслях уже получены впечатляющие практические результаты, но в целом решение этой проблемы еще ждет своих исследователей и творцов, ученых и инженеров, которые сумеют направить ВЭР на службу человеку.

## 12.2 Теплоутилизационные установки

Самыми распространенными из утилизационных установок в различных отраслях производства являются котлы-утилизаторы, экономайзеры и воздухонагреватели, предназначенные для выработки пара, нагрева воды или воздуха, соответственно, за счет отбросного тепла технологических установок. Как правило, это рекуперативные теплообменники, дооборудованные специальными дополнительными агрегатами для предварительной очистки греющего теплоносителя и циркуляционными насосами или вентиляторами для нагреваемого. В качестве примера на рис. 12.2 приведена схема установки котла-утилизатора на реакторе для производства серной кислоты.

Здесь из бункера-накопителя специальным дозатором в печь кипящего слоя для обжига подается серный колчедан. Газообразные продукты реакции с достаточно высокой температурой (около 450 °С), прежде чем попасть на дальнейшую обработку, направляются сначала в теплоизолированный циклон для очистки от механических примесей, а далее – в специальный котел-утилизатор, где отдают свое тепло на выработку перегретого пара. Для этого в котле установлены кипяtilьные трубы и трубчатый пароперегреватель, которые и воспринимают теплоту горячих газов. Все трубки отходят от барабана, внутри которого установлен сепаратор пара. Движение воды в кипяtilьных трубах принудительное (это увеличивает интенсивность теплопередачи), организуемое с помощью циркуляционного насоса. Насыщенный пар, который забирается выше сепарационной решетки, из барабана направляется в пароперегреватель, а затем – на потребление. С целью повышения тепловой экономичности утилизатора, с помощью специального теплообменника утилизируется часть физического тепла, приносимого в реактор обрабатываемым колчеданом, нагретым предварительно на предыдущих этапах технологического процесса.



**Рис. 12.2** Схема установки котла-утилизатора:

1 – бункер-питатель; 2 – печь кипяще-

труб и сепарационного устройства. В аппарате циркулируют два потока воды. Чистая вода протекает внутри трубок насадки и нагретая отдается потребителю. Орошающая вода, разбрызгиваемая форсунками, непосредственно соприкасается с дымовыми газами, тоже нагревается и постепенно загрязняется. Протекая через насадку, эта вода смачивает трубы и тем самым существенно увеличивает интенсивность теплопередачи в пучке. Одновременно она передает часть полученного тепла чистой воде. Еще одну большую часть тепла получает чистая вода за счет конденсации пара, образовавшегося при контакте орошающей воды с продуктами сгорания. Температура чистой воды на выходе из аппарата обычно принимается несколько меньшей, чем температура мокрого термометра уходящих газов (50 ... 60 °С). Как правило, активная насадка делится на две секции. В одной циркулирует исходная чистая вода, а в другой – химочищенная вода, подготовленная для системы отопления.

Газы, пройдя сквозь насадку, поступают в сепарационное устройство, где отделяются капли воды. Это происходит при течении воды по вогнутым поверхностям лопаток, поскольку при этом центробежные силы отжимают воду к стенке. Эта орошающая вода собирается в лотках и стекает в специальный бак, где отстаивается и откуда насосом снова подается к форсункам и разбрызгивается. Выходящие из аппарата газы с относительной влажностью около 100 % и температурой порядка 95 °С обычно смешиваются с небольшой долей горячих газов и направляются в другой утилизатор, где осуществляется почти полная конденсация содержащегося водяного пара.

Разработан и выпускается промышленностью целый типоряд КТАНов на различные тепловые производительности. Основные технико-экономические характеристики аппаратов этого типа приведены в табл. 12.1. Естественно, что эти аппараты могут быть с успехом применены и для утилизации других тепловых ВЭР, если они не очень загрязнены твердыми выносами.

Высокую эффективность показывает и универсальный утилизатор с кипящим слоем, схема которого приведена на рис. 12.4. Здесь в стальном корпусе расположены сепаратор (для отделения воды от газа или воздуха), форсунки для разбрызгивания воды и насадка, в которой на решетке располагаются полые пластмассовые шары. Под воздействием восходящего потока воздуха эти шары всплывают, образуя «кипящий слой». Благодаря активной турбулизации тепло- и массообмен между газом и влагой на поверхности шаров значительно увеличивается. Нагретая вода сепарируется и собирается в нижней части аппарата, а газы, насыщенные водяным паром направляются в другой утилизационный аппарат или выбрасываются в вытяжную трубу.

Такие аппараты широко применяются в системах оборотного водоснабжения крупных холодильных

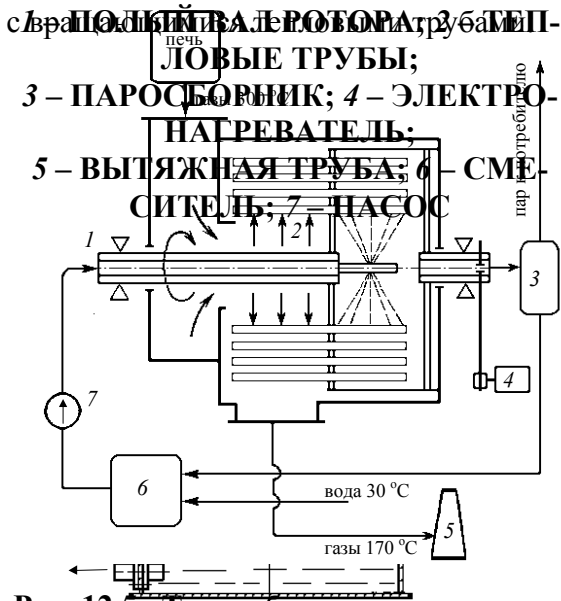


Рис. 12.5 Теплообменник-утилизатор

Рис. 12.4 Универсальный аппарат с вращающимся теплообменником

или других технологических установок для утилизации отводимого тепла (оно, например, нагревает воздух, поступающий в систему вентиляции). В нем можно охлаждать воздух в летние месяцы, можно нагревать воду низкотемпературными продуктами сгорания.

Оригинальная конструкция теплообменника-утилизатора с вращающимися тепловыми трубами для регенерации теплоты отходящих газов металлургических печей разработана в Японии (см. рис. 12.5).

**ЗДЕСЬ В ЗОНУ КОНДЕНСАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ТРУБОК ФОРСУНКАМИ ВПРЫСКИВАЕТСЯ ВОДА. ЗОНА КИПЕНИЯ ТРУБОК НАГРЕВАЕТСЯ ГОРЯЧИМИ ГАЗАМИ И ПОДВОДИМОЕ ЗДЕСЬ ТЕПЛО ОБЕСПЕЧИВАЕТ ИСПАРЕНИЕ ВПРЫСНУТОЙ ВОДЫ И ДАЖЕ ПЕРЕГРЕВ ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПАРА. ЧЕРЕЗ ПАРΟΣБОРНИК ЭТОТ ПАР НАПРАВЛЯЕТСЯ ПОТРЕБИТЕЛЮ. НЕБОЛЬШОЕ КОЛИЧЕСТВО ЭТОГО ПАРА ЗАБИРАЕТСЯ ИЗ ПАРΟΣБОРНИКА ДЛЯ НАГРЕВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ В СПЕЦИАЛЬНОМ СМЕСИТЕЛЕ. ВРАЩЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ ВМЕСТЕ С ИСПАРИТЕЛЬНОЙ КАМЕРОЙ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ С КЛИНОРЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ. ЭТО ВРАЩЕНИЕ ЗАМЕТНО ИНТЕНСИФИЦИРУЕТ ПРОЦЕССЫ ТЕПЛООТДАЧИ НА НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ, ОБЕСПЕЧИВАЯ ВЫСОКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ.**

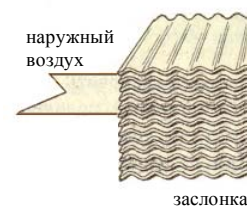


Рис. 12.6 Регенеративный теплообменник

Как уже отмечалось выше, достаточно большим источником ВЭР может служить воздух, удаляемый из больших производственных зданий при вентиляции. Обычно часть этого воздуха подмешивается в поток свежего воздуха, подаваемого в помещение (это называется рециркуляцией), что экономит теплоту, необходимую для нагревания свежего воздуха. Для использования теплоты удаляемого вентиляционного воздуха применяют специальные теплообменники регенеративного или рекуперативного типов. Обычно это пластинчатые аппараты, отличающиеся большой теплопередающей поверхностью и малыми гидравлическими сопротивлениями по обоим воздушным потокам. Ниже на рис. 12.6 приведена принципиальная схема одного из таких регенеративных утилизаторов. Теплый удаляемый воздух с помощью заслонки попеременно направляется то в левый, то в правый теплоаккумулирующий пакет, состоящий из рифленых металлических пластин. После достаточного нагрева пластин заслонка поворачивается, и через нагретый пакет пропускается свежий наружный воздух, который нагревается от пластин, отдающих накопленное тепло. В это время удаляемый воздух нагревает пластины другого пакета.

На рис. 12.7 показан общий вид пластинчатого утилизатора типа ТПГ, предназначенного для тех же целей. Здесь между пластинами пакета вставляются дополнительно гигроскопические пластины из картона, которые поглощают излишнюю влагу, выделяющуюся при охлаждении удаляемого воздуха. Эта влага диффундирует через перегородку и испаряется на другой ее поверхности, увеличивая влажность более сухого наружного воздуха. Обычно эти перегородки предварительно погружают в солевой раствор определенной концентрации, чем и подбирается определенная интенсивность процессов массообмена в них. Конструкция аппарата разборная, что позволяет при необходимости достаточно быстро заменять картонные перегородки. Теплоутилизаторы типа ТПГ надежно работают в холодный период года без опасности обледенения поверхностей теплообмена до температур наружного воздуха  $-20 \dots -25 \text{ }^\circ\text{C}$  при относительной влажности удаляемого воздуха не более 60 %. Они могут выполняться из отдельных секций и имеют производительность по воздуху 2,5 или 5,0 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$ .

Одним из источников низкопотенциальной теплоты для систем вентиляции может быть теплота сточных вод от технологического или бытового оборудования. Здесь наиболее эффективными теплопроводами между водой и воздухом показали себя тепловые трубы со специальным низкокипящим рабочим агентом. Их применение позволяет в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями надежно разделить потоки и исключить замерзание сточных вод. Обычно такой утилизатор имеет несколько рядов труб из нержавеющей стали с эффективным оребрением поверхностей, омываемых нагреваемым воздухом, и гладкую поверхность в той части труб, которая соприкасается со сточными водами.

Большой экономический эффект способна обеспечить не частичная, а почти полная (до 90 %) рециркуляция воздуха в системе вентиляции. Для этого следует лишь позаботиться об удалении вредных примесей, поступающих в него в вентилируемом помещении. В первую очередь это производственная пыль, влага, содержание  $\text{CO}_2$  и других вредных газов. И если удаление вредных газов сопряжено с большими трудностями и практически не применяется, то сравнительно несложные фильтры и конденсационные устройства позволяют достаточно просто удалять излишнюю пыль и влагу из «отработанного» воздуха. Тогда свежий воздух добавляется к очищенному только в том количестве, которое способно обеспечить допустимые концентрации вредных газов в вентилируемом помещении.

Выше уже отмечалось, что при больших объемах низкопотенциальных ВЭР большой эффект дает применение тепловых насосов или повышающих термотрансформаторов.

### 13 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Будущее светло и прекрасно. Живите для него, работайте для него.  
**ПЕРЕНОСИТЕ ИЗ НЕГО В НАСТОЯЩЕЕ ВСЕ, ЧТО СМОЖЕТЕ ПЕРЕНЕСТИ.**

*Н.Г. Чернышевский*

Представленный нами учебный материал убеждает, что нетрадиционные и возобновляемые источники энергии обладают огромным потенциалом, достаточным для того, чтобы навсегда закрыть вопрос о недостатке энергии. Так почему же мы видим сегодня, что этот потенциал используется очень и очень слабо? Основная причина – экономическая. Ведь и сегодня стоимость углеводородных топлив еще настолько невелика, что вкладывать значительные средства в освоение нетрадиционных источников просто невыгодно, учитывая и ту особенность многих из них, которая связана с неравномерностью и непредсказуемостью поступления энергии от таких источников.

Но сегодня человечество приближается к той черте, когда отдавать предпочтение традиционным энергоресурсам уже нельзя, они на исходе (в историческом плане), и НВИЭ становятся полноценным соперником традиционных источников. Поэтому всегда следует проводить скрупулезный экономический анализ, прежде чем решить тот или иной вопрос об использовании источников энергии. Пора перестать смотреть на НВИЭ как на нечто экзотическое и малополезное, а перестраиваться психологически на то, что будущее-то за ними. Считается, что для становления новой энергетики потребуется около пятидесяти лет. Это тот уже совсем небольшой запас времени, которым мы располагаем.

Сегодня еще трудно представить себе энергетику будущего в четком виде. Новая энергетика по своей структуре обязательно будет многоплановой. Это будет отрасль, включающая в себя и тепловую, и гидравлическую, и ядерную, и солнечную, и ветроэнергетику и еще многие другие направления получения энергии. Такой путь развития энергетики представляется естественным и более надежным, гарантирующим успешное решение энергетической проблемы, хотя науке многое предстоит еще выяснить у природы, а технике многое сделать впервые.

Авторы настоящего учебного пособия согревают себя мыслью, что собранный в нем учебный материал поможет молодым специалистам в области энергоснабжения промышленных предприятий правильно видеть и понимать общие проблемы энергетики, представлять возможности, плюсы и минусы нетрадиционных источников энергии, технически грамотно применять те немногие пока методы и устройства, которые постепенно входят в повседневную практику использования этих источников. Успехов и достижений вам, наши младшие соратники, в благородном деле согревания и энергооборужения собратьев по планете!

### 14 ВОПРОСЫ ЗАЧЕТНОГО МИНИМУМА

Проблема не в том, каков ответ, - проблема в том, каков вопрос.

*А. Пуанкаре*

#### 1 ПОЧЕМУ РАСТЕТ ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В МИРОВОМ МАСШТАБЕ И В РОССИИ В ЧАСТНОСТИ?

2 Опишите хотя бы примерно структуру мирового энергохозяйства. Какова доля в ней нетрадиционных и возобновляемых источников энергии?

3 Как растет потребление энергии в мире?

4 Почему традиционная энергетика не имеет далекой перспективы и требуется постепенная замена углеводородных топлив на другие источники энергии?

5 Опишите вред, который наносится энергетическими предприятиями окружающей среде.

- 6 В чем опасность теплового загрязнения природы?
- 7 Что принято называть нетрадиционными и возобновляемыми источниками энергии?
- 8 Какими общими чертами характеризуются большинство нетрадиционных возобновляемых источников энергии?
- 9 Перечислите основные возобновляемые источники энергии.
- 10 Какой вид энергии является более всего благоприятным для потребителей?
- 11 Какие виды энергии имеют самую высокую эксергию?
- 12 Расскажите о ресурсах энергии солнечного излучения на Землю и возможностях эффективного использования этих ресурсов.
- 13 Какими трудностями сопровождается утилизация солнечной энергии?
- 14 Какие примеры успешного освоения энергии солнечного излучения Вы можете привести?
- 15 Что называют солнечной постоянной? Дайте трактовку физического смысла этой величины.
- 16 Одинакова ли плотность теплопритока от солнечной радиации в разных географических зонах Земли? От чего она зависит?
- 17 Какие регионы России имеют наибольшие теплопоступления от солнечной радиации?
- 18 Что характеризует собой коэффициент облачности для данной местности?
- 19 Что называют коллекторами солнечного излучения?
- 20 Опишите конструкцию простейшего коллектора солнечной энергии.
- 21 Что характеризует величина теплового КПД коллектора солнечной энергии?
- 22 Что характеризует величина оптического КПД коллектора солнечной энергии?
- 23 Как устроены вакуумные коллекторы солнечной энергии?
- 24 В каких установках находят применение вакуумные коллекторы солнечной энергии?
- 25 Какие поверхности, абсорбирующие солнечную энергию, называют селективными?
- 26 Почему преимущественное применение в вакуумных коллекторах солнечной энергии нашли двухслойные селективные поверхности? Какими свойствами обладают верхний и нижний слой такой поверхности?
- 27 Как обеспечивается селективность поверхности за счет геометрических факторов?
- 28 Какие концентраторы солнечной энергии применяются в солнечных установках?
- 29 Почему возникает необходимость в аккумулировании энергии на солнечных энергоустановках?
- 30 Опишите конструкцию наиболее распространенных тепловых аккумуляторов и принцип их действия.
- 31 Расскажите о способе утилизации солнечной энергии с помощью солнечных прудов.
- 32 Что называют энергоемкостью теплового аккумулятора?
- 33 От чего зависит продолжительность зарядки теплового аккумулятора?
- 34 От чего зависит продолжительность разрядки теплового аккумулятора?
- 35 Опишите простейшие схемы солнечного теплоснабжения (с пассивным, активным и резервным водоподогревом).
- 36 Опишите конструкцию и принцип действия солнечной системы тепло- и хладоснабжения здания с абсорбционной холодильной установкой.
- 37 Каковы термодинамические особенности процесса кипения бинарной смеси?
- 38 В силу каких причин происходит абсорбция газа бинарной смесью?
- 39 Какой вид имеет фазовая  $t - C$  диаграмма бинарной смеси, как располагаются на ней области жидкости, насыщенного пара и перегретого пара?
- 40 Опишите конструкцию и принцип действия гелиоопреснительной установки.

- 41 Как устроены гелиотеплицы? Как они должны быть ориентированы по отношению к сторонам света?
- 42 Как используется энергия солнечного излучения для сушки материалов?
- 43 Как устроены и работают гелиосушки косвенного действия?
- 44 Опишите общую схему и основные агрегаты солнечной электростанции.
- 45 Чем различаются гелиоэлектростанции башенного и модульного типов?
- 46 В чем различие центральных приемников солнечной радиации с внешним облучением и полостного типа?
- 47 Назовите физические основы работы фотоэлектрических преобразователей энергии.
- 48 Назовите преимущества и недостатки фотоэлектрических преобразователей.
- 49 Где нашли преимущественное применение фотоэлектрические преобразователи в настоящее время? Что сдерживает их более широкое применение?
- 50 Опишите конструкцию современного фотоэлемента.
- 51 Назовите причину возникновения ветров на нашей планете.
- 52 Какие задачи может решать современная ветроэнергетика? Чем они отличаются от использования энергии ветра в XIX веке?
- 53 От чего зависит мощность ветрового потока?
- 54 Что характеризует коэффициент использования ветровой энергии?
- 55 Как изменяется мощность ветродвигателя при увеличении скорости ветра? Как при этом изменяется коэффициент использования ветровой энергии?
- 56 Какие силы действуют на лопасть ветродвигателя? Как влияет на них угол атаки?
- 57 Что называют коэффициентом быстроходности ветродвигателя?
- 58 Опишите кратко устройство самых распространенных современных ветродвигателей
- 59 Как устроен ветродвигатель Дарье?
- 60 Как работает вихревой ветродвигатель? В чем его преимущества по сравнению с общепринятыми конструкциями?
- 61 Назовите территории России, наиболее подходящие для строительства ветроэлектростанций.
- 62 На какую мощность (примерный уровень) строятся современные ветроэлектростанции?
- 63 Какая страна занимает лидирующие позиции по использованию ветровой энергии и чему можно нам у нее поучиться?
- 64 Что называют геотермальной энергией?
- 65 В чем причина местных тепловых геологических аномалий?
- 66 Назовите примерный градиент температуры по глубине земной коры.
- 67 Чем различаются гидротермальные и петротермальные источники?
- 68 Назовите основные направления использования энергии геотермальных источников.
- 69 Назовите экономические районы России с наибольшими запасами геотермальной энергии.
- 70 Что осложняет использование геотермальных источников для выработки электрической энергии?
- 71 Как сказывается наличие большого содержания растворенных и нерастворенных газов и механических частиц в гелиотермальных флюидах на особенности конструкции отдельных агрегатов гелиоэлектростанции и даже ее общую схему?
- 72 В чем особенности геотермальных электростанций, работающих на флюиде (рассоле) с очень высоким содержанием растворенных солей?
- 73 Каким образом могут быть использованы геотермальные воды с невысокой температурой выхода? Как на их основе можно построить электростанцию?

- 74 Какие страны могут служить примером широкого и эффективного использования геотермальной энергии?
- 75 Для каких целей могут еще использоваться геотермальные воды?
- 76 Как теплота преобразуется в электричество в термоэлектрических генераторах?
- 77 Опишите конструкцию полупроводникового термоэлектрического генератора.
- 78 Как устроен термоэлектрический генератор, реализующий эффект Зеебека в непроводниковых материалах? Что называют термопарой?
- 79 Перечислите основные характеристики термоэлектрического генератора.
- 80 При каких температурах могут работать термоэлектрические генераторы? Как от этого зависит их эффективность?
- 81 Какие источники теплоты используются для работы термоэлектрических генераторов?
- 82 Какими видами энергии располагает мировой океан? Какие из них могут быть утилизированы?
- 83 Почему возникает разница температур между поверхностными и глубинными слоями воды в морях и океанах?
- 84 Почему возникают морские и океанские течения?
- 85 Почему возникают морские приливы и отливы? Во всех ли морях можно наблюдать это явление?
- 86 Расскажите о двух направлениях в использовании температурного перепада по глубине водоема.
- 87 Какие рабочие тела используются на океанских тепловых электростанциях?
- 88 Как устроены и функционируют приливные гидроэлектростанции?
- 89 К каким экологическим последствиям может привести осуществление грандиозных проектов по устройству сверхмощных приливных гидроэлектростанций?
- 90 Как может быть утилизирована энергия морских волн?
- 91 В чем преимущества и недостатки использования водорода в качестве топливной основы современной энергетики?
- 92 Как можно получать водород в промышленных масштабах?
- 93 В чем суть термического способа получения водорода?
- 94 Назовите идею электрохимического способа получения водорода.
- 95 В чем суть термохимического способа получения водорода?
- 96 Какой из способов получения водорода является самым малоэнергоёмким?
- 97 Расскажите об устройстве и принципе действия водородного топливного элемента.
- 98 Что влияет на интенсивность электрохимических процессов, а следовательно, и на эффективность работы топливных элементов?
- 99 Могут ли работать топливные элементы на других, кроме водорода, топливах? В чем состоит особенность таких устройств?
- 100 Что называют биомассой? В результате каких природных процессов она возникает?
- 101 Перечислите основные источники биомассы.
- 102 Какими путями может быть получена энергия биомассы?
- 103 Перечислите свойства бытовых городских отходов как источника биомассы.
- 104 При каких условиях экономически выгодны переработка и сжигание бытовых городских отходов?
- 105 Охарактеризуйте жидкие городские отходы как источник утилизируемой биомассы.
- 106 Чем должны отличаться топки для сжигания различных видов биомассы?
- 107 Что такое локомотив и каковы перспективы его возрождения?
- 108 В чем суть термохимической переработки биомассы?
- 109 Опишите устройство газификатора биомассы с внутренним обогревом.
- 110 Почему дутье чистым кислородом позволяет получить более качественный генераторный газ?

- 111 В чем суть анаэробной ферментации биомассы? Что используется для такой переработки? Куда идут стабилизированные остатки такого процесса?
- 112 Назовите хотя бы примерный состав биогаза. Что составляет его основу?
- 113 Как влияет температурный режим на интенсивность газообразования при анаэробной ферментации?
- 114 Как получают этиловый спирт из биомассы? Какие ее виды для этого используют?
- 115 Что называют магнитогидродинамическими генераторами?
- 116 Опишите работу магнитогидродинамического генератора. Что выступает здесь в качестве рабочего тела?
- 117 От чего зависит удельная мощность МГД-генератора?
- 118 Для чего нужны мощные электромагниты в МГД-генераторе?
- 119 Что характеризует собой коэффициент преобразования энтальпии в МГД-генераторе?
- 120 Почему обычно МГД-генератор не работает автономно, а используется как составная часть мощной энергетической установки с бинарным циклом?
- 121 Какие преимущества дает использование регенератора в установке с МГД-генератором?
- 122 От чего зависит термический КПД непосредственно в МГД-генераторе?
- 123 Какие направления ядерной энергетики уже вошли в повседневную реальность, а каким еще только предстоит занять ведущее место в будущем?
- 124 В чем преимущества ядерной энергетики? В чем ее опасность? Почему ядерный синтез менее опасен, чем ядерный распад?
- 125 При каких условиях можно осуществить ядерный синтез?
- 126 Что является «топливом» для термоядерного реактора?
- 127 Каковы основные особенности высокотемпературной плазмы?
- 128 Как добиваются удержания и стабильной устойчивости плазмы?
- 129 Опишите основные принципы устройства и работы ТОКАМАКа.
- 130 Как скоро планируется осуществить управляемый термоядерный синтез? Какие препятствия ждут еще ученых на этом пути?
- 131 Что называют повышением качества тепловой энергии?
- 132 Какие устройства позволяют повысить качество тепловой энергии?
- 133 Расскажите об устройстве теплового насоса. Может ли он служить источником тепла для получения электрической энергии?
- 134 Обязательно ли тепловой насос должен работать на низкокипящих жидкостях?
- 135 За счет чего мы получаем положительный эффект в тепловых насосах?
- 136 Назовите области применения тепловых насосов.
- 137 Как устроены и работают повышающие термотрансформаторы? Когда их выгодно применять на практике?
- 138 Если повышающий термотрансформатор вырабатывает еще и электрическую энергию, то каким будет КПД преобразования тепловой энергии источника тепла в электричество?
- 139 Что называют вторичными энергетическими ресурсами (ВЭР)?
- 140 Как подразделяют (по уровню потенциала, по физической сути) ВЭР?
- 141 Приведите примеры топливных, тепловых ВЭР и ВЭР избыточного давления.
- 142 Для получения чего используются ВЭР?
- 143 Как устроен и работает котел-утилизатор?
- 144 В чем преимущество утилизаторов смесительного типа?
- 145 Как работает смесительный утилизатор с активной насадкой?
- 146 В чем преимущество утилизационных аппаратов с кипящим слоем?

147 Каким преимуществом обладают утилизаторы с тепловыми трубами?

148 Какие утилизаторы применяют в системах вентиляции производственных зданий?

149 В чем суть рециркуляции вентиляционного воздуха?

150 О чем мечтали авторы, работая над настоящим учебным пособием?

## 15 Выписка

из государственного образовательного стандарта для направления 650800 «Теплоэнергетика» подготовки дипломированного специалиста (квалификация – инженер)

Читатель – существо недоверчивое.  
М.М. Зоценко

Индекс	Название и содержание дисциплины	Часов
ОПД. Ф. 10	<p><b>Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии</b></p> <p><b>ТРАДИЦИОННЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ; ЗАПАСЫ И РЕСУРСЫ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ; ДИНАМИКА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ И РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ; МЕСТО НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ В УДОВЛЕТВОРЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА.</b></p> <p><b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА; ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ; ТИПЫ КОЛЛЕКТОРОВ; ПРИНЦИПЫ ИХ ДЕЙСТВИЯ И МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ; СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ; АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛА; ТИПЫ АККУМУЛЯТОРОВ И МЕТОДЫ ИХ РАСЧЕТА; СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.</b></p> <p>Ветроэнергетические установки; запасы энергии ветра и возможности ее использования; ветровой кадастр России; расчет идеального и реального ветряка; типы ветроэнергетических установок; ветроэлектростанции.</p> <p><b>ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ; ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЗЕМНОЙ КОРЫ, ИСТОЧНИКИ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛА; МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛА</b></p>	120

**ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
И В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ;  
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
ГЕОТЭС.**

Использование энергии океана; энергетические ресурсы океана; энергетические установки по использованию энергии океана (использование разности температуры воды, волн, приливов, течений).

Понятие вторичных энергоресурсов (ВЭР); использование вторичных энергоресурсов для получения электрической и тепловой энергии; способы использования и преобразования ВЭР; отходы производства и сельскохозяйственные отходы; способы и возможности их использования в качестве первичных источников для получения электрической и тепловой энергии.

**16 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Теплоэнергетика и теплотехника: Справочник. Кн. 2: Теоретические основы теплотехники. Теплофизический эксперимент. – М.: МЭИ, 2001. – 564 с.
- 2 Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирование воздуха: Справ. пособие / Под ред. Л.Д. Богуславского, В.И. Ливчака. – М.: Стройиздат, 1990. – 621 с.
- 3 Теплотехника / Под. ред В.И. Крутова. – М.: Машиностроение, 1986. – 427 с.
- 4 Кириллин В.А. Энергетика. Главные проблемы / В.А. Кириллин. – М.: Знание, 1990. – 120 с.
- 5 Алферов Ж.И. Земные профессии Солнца / Ж.И. Алферов, А.В. Бородин. – М.: Сов. Россия, 1981. – 88 с.
- 6 Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки / Н.В. Харченко. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
- 7 Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / Под ред. Э.В. Сарнацкого и С.А. Чистовича. – М.: Стройиздат, 1990. – 325 с.
- 8 Красовский Н.В. Ветроэнергетические ресурсы и перспективы их использования / Н.В. Красовский. – М.; СПб.: Знание, 1990. – 97 с.
- 9 Ушаков В.Г. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии / В.Г. Ушаков. – Новочеркасск: НГТУ, 1994. – 120 с.
- 10 Сворень Р.И. Сквозь тернии к звездам / Р.И. Сворень // Наука и жизнь. – 2001. – № 8. – С. 20 – 25; 2001. – № 9. – С. 51 – 57.
- 11 Лучков Б.И. Солнечный дом, солнечный город / Б.И. Лучков // Наука и жизнь. – 2002. – № 12. – С. 26 – 31.

## 12.1 Технические характеристики КТАНов-утилизаторов

Марка КТАНа	№	Активная насадка		Число форсунок $n_f$	Объем изоляции, $m^2$	Площадь поверхности покровного слоя, $m^2$	Масса с водой и изоляцией, кг
		Диаметр трубок $d_{нх} \times$ толщину $S$ , мм	Число трубок $n$				
КТАН-0,25УГ	1	18 × 2	240	6	0,99	13,71	898,0
	2	18 × 2	480	12	1,26	16,88	1435,0
КТАН-0,5УГ	1	25 × 2	256	24	1,55	20,36	2020,0
КТАН-0,8УГ	2	25 × 2	512	12	2,17	28,34	3225,0
КТАН-1,5УГ	2	32 × 2	400	28	3,31	42,96	4115,0
КТАН-2,3УГ	3	32 × 2	600	42	4,25	54,92	6306,0
КТАН-4,5УГ	4	32 × 2	800	56	5,12	70,44	8185,5
КТАН-6УГ	8	32 × 2	1600	112	8,21	105,60	15 232,5
КТАН-12УГ		32 × 2					

## 2.2 Основные параметры СЭС с центральным приемником

Технические данные	Местоположение СЭС					
	Италия (Сицилия)	Япония (Нио)	Испания (Альмерия)	Франция (Таргасон)	США (Барстоу)	Украина (Крым)

<b>СРОК ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ</b>	Май 1981	Июль 1981	Июль 198 1	Февраль 1982	Апрель 1982	Май 1986 СЭС-5
Название СЭС	Eurelios	–	Cesa-1	Themis	Solar one	
Номинальная мощность, МВт	1,0	1,0	0,5	2,5	10	5,0
Расчетная плотность радиации, кВт/м <sup>2</sup>	1,0	0,75	0,92	1,04	0,9	0,8
<b>ТЕПЛОПРИЕМНИК:</b>						
тип	Полостной	Полостной	Полостной	Полостной	Цилиндрический, внешнего облучения	Цилиндрический, внешнего облучения
высота башни над уровнем земли, м	55	60	60	80	79	70
площадь апертуры, м <sup>2</sup>	15,6	–	9,7	16,0	302	154
эффективность поглощения излучения, %	93	–	90,5	85	83	–
теплоноситель	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	Na	Соль Ni-tes	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
температура теплоносителя на выходе, °С	512	249	530	450	–	250
	4,86	9,2	24,3	108	50,8	28
	182	807	93	201	1818	1600
расход теплоносителя, т/ч						
количество гелиостатов						

Продолжение табл. 2.2

Технические данные	Местоположение СЭС					
	Италия (Сицилия)	Япония (Нио)	Испания (Альмерия)	Франция (Таргасон)	США (Барстоу)	Украина (Крым)
общая площадь, м <sup>2</sup>	–	16	39,3	51,8	39,3	25
площадь гелиостатного поля, м <sup>2</sup>	35·10 <sup>3</sup>	–	54·10 <sup>3</sup>	–	34·10 <sup>4</sup>	15·10 <sup>4</sup>
энергоёмкость аккумулятора теплоты, МВт·ч	0,36	3,0	5,5	4,0	7 МВт·час	–
Паросиловая установка: тип	Однокорпусная паровая турбина с одним паровпус-	Однокорпусная паровая турбина с одним паровпус-	6-цилиндровая машина с тремя промежуточными	Однокорпусная паровая турбина с одним паровпус-	Однокорпусная паровая турбина с двумя па-	

температура пара на входе, °С	ком без отборов	ком без отборов	теплообменниками	ком и тремя отборами	ровпусками и четырьмя отборами	250
давление пара на входе, МПа	510	187	510	410	510	4,0
Электрический КПД (нетто) при расчетной плотности радиации	5,9	1,2	10	4,0	10,0	—
	16	10,3	12,5	20	15,3	

### 2.3 Основные параметры СЭС распределенного типа

Параметр	Номера солнечных электростанций								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Коллекторы, шт.:									
LS-1 (128 м <sup>2</sup> )	560	536	0	0	0	0	0	0	0
LS-2 (235 м <sup>2</sup> )	48	518	980	980	992	800	400	0	0
LS-3 (545 м <sup>2</sup> )	0	0	0	0	32	0	184	852	888
<b>ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО</b>	41	96	117	117	126	96	89	190	198
<b>ЗЕРКАЛЬНЫХ СЕГМЕНТОВ</b>	600	464	600	600	208	000	216	848	912
Площадь апертуры всех концентраторов, м <sup>2</sup>	82 960	190 338	230 300	230 300	250 560	188 000	194 280	464 340	483 960
Температура теплоносителя на входе в LS, °С	240	231	248	248	248	293	293	293	293
Температура теплоносителя на выходе из LS, °С	308	321	349	349	349	390	390	390	390
Температура теплоносителя на выходе из LS, °С	71	71	73	73	73	76	76	80	80
Оптический КПД, %	3213	416	403	403	461	416	416	1289	1289
Объем теплоносителя в первом контуре, м <sup>3</sup>	13,8	30	30	30	30	30	30	80	80
Электрическая мощность, МВт	35,3	27,2	43,5	43,5	43,5	100	100	100	100
На входе в турбину: давление 10 <sup>5</sup> Па температура, °С	415	360	327	327	327	371	371	371	371
<b>ГОДОВАЯ ВЫ-</b>	30	80	91	91	99	90	92	252	256

<b>РАБОТКА ЭЛЕКТРОЭНЕР- ГИИ, МВт·ч</b>	100	500	311	311	182	850	646	842	125
<b>КПД СЭС, %</b>	32,5	29,4	30,6	30,6	30,6	37,5	37,5	37,5	37,5

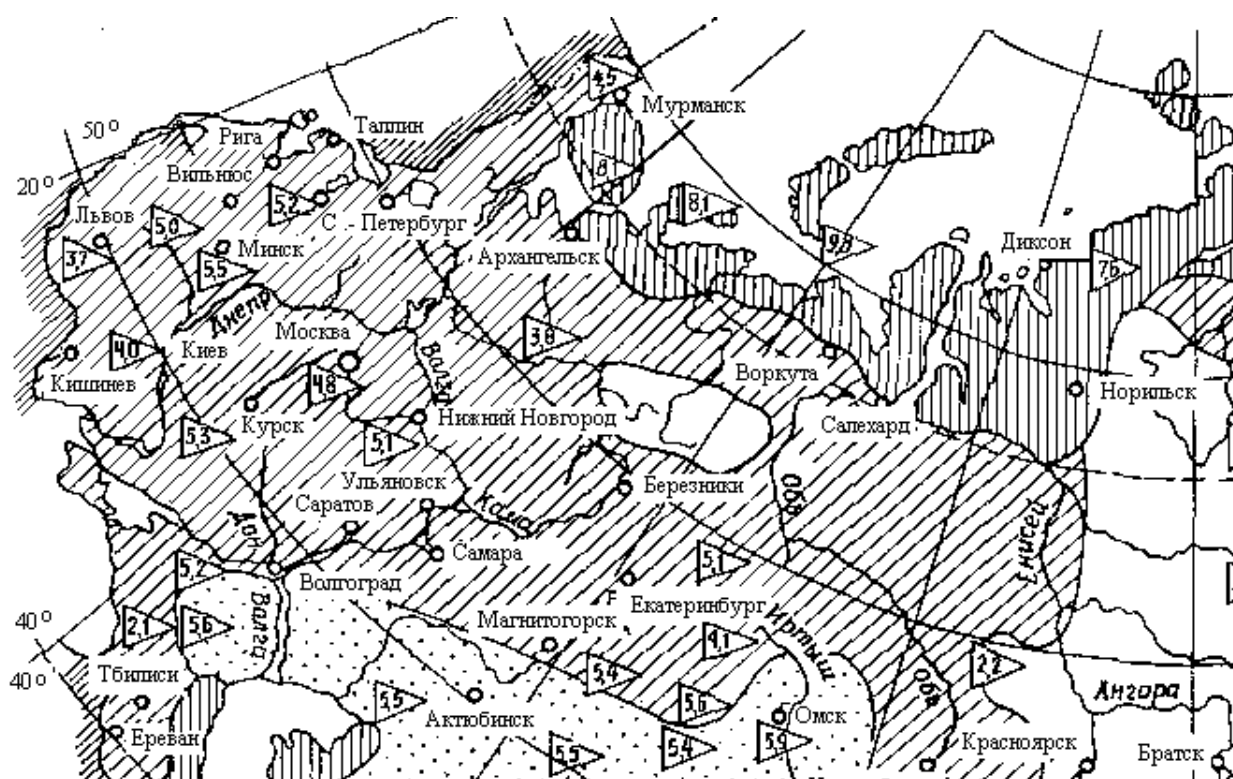


Рис. 3.7 Ветровой кадастр отдельных территорий России и прилегающих стран. Обозначения:



### 3.2 Ветроэнергетические установки ряда стран

Страна	Тип установки	Номинальная мощность, кВт	Диаметр ротора, м	Число лопастей	Высота башни, м	Масса двигателя, кг	Номинальная скорость ветра, м/с
Великобритания	Rutland	0,07	0,91	6	6	4	10
	WG910	300	33,3	2	25	2600	11,5
	Weg M53-300	500	39,9	2	35	1500	12,1
	Weg M53-500H						
Германия	Aerocraft 500	0,5	2,4	3	10,5	6	8
	Nordex N54	1000	54	3	60	14 300	14
Дания	Enercon 30	200	30	3	50	2500	11
	Bonus 50	500	37	3	30	3400	15
	Micon M	1000	54	3	59	15 600	15

	1000 Enercon 66	1500	66	3	68	21 000	13
Италия	R. Calzoni 30A	200	33	1	33	750	11,8
	R. Calzoni 305	350	33	1	33	1240	13,5
Нидерланды	Nedwind NW 4	500	40,8	2	50	6450	15
	Nedwind NW 5	1000	52,6	2	70	16 650	16
Россия	M-250	0,25	1,7	2	–	14	8
	Радуга 001	1	4,8	3	–	–	7,1
	Радуга 1*	1000	48	3		115 000	13,6
США	BWC 850	0,85	2,4	3	13,4	–	12,5
	Begrey BWC	10	7	3	18,3	–	13
Франция	Vergent 5.5	5	5	2	–	36,7	13
	Vergent 14.5	50	14	2	30	–	13,5