



# **ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

УЧЕБНО - МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Ижевск | 2012 год

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

## **ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

Учебно-методическое пособие

*«Пространство Неба – Земли  
можно уподобить кузнечным мехам.  
При опустошении не истощаются»*

*Лао-Цзы. «Трактат о Пути и Потенции»*

Ижевск 2012

УДК 62 (07)

ББК 31.6я7

В 646

*Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ*

Рецензент: Директор института гражданской защиты д.т.н. В.М. Колодкин.

Составитель: д.т.н. В.Д. Плыкин

**В 646 Возобновляемые источники энергии:**

учебно-методическое пособие /сост. В.Д. Плыкин. — Ижевск:

Издательство «Удмуртский университет», 2012. — 60 с.

В учебно-методическом пособии изложены сведения об энергетике страны и перспективном направлении её развития — возобновляемые источники энергии. Изложенный в пособии материал способствует усвоению инженерных знаний, развивает навыки самостоятельной работы, закрепляет знание теоретической части курса и готовит студентов к выполнению курсовых и дипломных работ. В пособии приведены термины и определения энергетики позволяющие студентам лучше ориентироваться в данном направлении народного хозяйства. После каждой главы даётся список вопросов для контроля усвоения знаний, составлены задачи для самостоятельного решения и даётся список рекомендуемой литературы для самостоятельного изучения данного раздела курса.

УДК 62 (07)

ББК 31.6я7

© Издательство «Удмуртский университет», 2012

© Сост. В.Д. Плыкин, 2012

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
<b>Предисловие</b> .....	4
<b>Введение</b> .....	5
<b>ГЛАВА 1. Основы мировоззрения инженера XXI века</b> .....	6
Контрольные вопросы, рекомендуемая литература.....	8
<b>ГЛАВА 2. Общая характеристика энергетики</b> .....	9
Общие понятия.....	9
Единицы измерения и константы.....	9
Энергия и ее качество.....	10
Энергетический баланс планеты.....	10
Возрастающие темпы энергопотребления.....	11
Рост народонаселения Планеты.....	12
Термины и определения.....	12
Контрольные вопросы, задачи, рекомендуемая литература.....	18
<b>ГЛАВА 3. Использование энергии ветра</b> .....	19
Развитие ветроэнергетики в мире.....	19
Сведения о ветровом кадастре России.....	19
Расчет ветроэнергетической установки.....	20
Расчет ветроэнергетических ресурсов региона.....	21
3.4.1. Характеристики скорости ветра.....	21
3.4.2. Расчет удельной мощности и удельной энергии ветрового потока.....	22
3.4.3. Валовой потенциал ветровой энергии.....	22
3.4.4. Технический потенциал ветровой энергии.....	22
3.4.5. Экономический потенциал ветровой энергии.....	22
Контрольные вопросы, задачи, рекомендуемая литература.....	22
<b>ГЛАВА 4. Использование солнечной энергии</b> .....	24
Общая характеристика солнечной энергетики.....	24
Системы солнечного теплоснабжения.....	24
Преобразование солнечной энергии в электричество (СЭС).....	27
Термодинамическая СЭС башенного типа.....	27
Солянопрудовые СЭС.....	28
Солнечные фотоэлектрические преобразователи.....	29
Селективное спектральное разделение светового луча.....	30
Каскадные фотоэлементы.....	30
Термофотоэлектрические преобразователи.....	30
Солнечно-водородная энергетика.....	31
4.4.1. Фотокаталитические процессы.....	31
4.4.2. Методы производства водорода.....	32
Метод термоллиза воды.....	32
Термохимический метод.....	32
Электролитический метод.....	32
Фотолитический метод.....	32
Контрольные вопросы, задачи, рекомендуемая литература.....	32
<b>Глава 5. Использование энергии малых рек</b> .....	34
Гидроэнергетический потенциал России и его использование.....	34
Основные принципы создания малых гидроэлектростанций (МГЭС).....	36
Энергия и мощность МГЭС.....	37
Гидроаккумулирующие электростанции.....	37
Осмотические ГЭС.....	38
Контрольные вопросы, задачи, рекомендуемая литература.....	39
<b>Глава 6. Использование геотермальной энергии</b> .....	41
Источники тепла в недрах Земли и закономерности его передачи.....	41
Методика оценки геотермальных ресурсов.....	46
Технологии добычи и использования геотермальной энергии.....	47
Использование геотермальной энергии для выработки электроэнергии.....	52
Контрольные вопросы, задачи, рекомендуемая литература.....	55
<b>Заключение</b> .....	56
<b>Список используемой литературы</b> .....	59

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое учебно-методическое пособие рассчитано на изучение курса «Возобновляемые источники энергии» в объеме и направлении подготовки «Инженерная защита окружающей среды».

Излагаемый курс охватывает все основные виды неисчерпаемой энергетики Природы и подобран так чтобы в результате его изучения студент получил необходимые знания и концепции использования неисчерпаемой энергии Природы, на основании которых он в дальнейшем мог бы уже самостоятельно осуществлять поиск необходимой литературы, разбираться в действующих разработках и устройствах на возобновляемых источниках энергии и мог использовать эти знания в своей инженерской практике.

Оригинальность учебно-методического пособия заключается в сжатой форме подачи основных положений и принципов создания и эксплуатации возобновляемых источников энергии.

Студентам дается понятие инженерского мышления XXI века, базирующееся на том, что современный инженер должен быть Со-творцом с Природой, что его инженерные разработки и технологии должны быть искусственным продолжением естественных природных процессов, органично взаимодействующие с окружающей средой, и не вызывающие экологического возмущения среды, что обеспечит гармонию, изначально заложенную в Природу — это основная цель профессиональной деятельности в XXI веке специалиста по инженерной защите окружающей среды.

В качестве методического руководства студентам в конце каждой главы даны вопросы для самоконтроля, задачи из инженерной практики для самостоятельного решения и рекомендуемая литература для самостоятельного изучения конкретного направления возобновляемой энергетики.

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема внедрения нетрадиционных возобновляемых источников энергии является в настоящее время одной из наиболее актуальных для всего народного хозяйства России. Её необходимо решать в кратчайшие сроки, так как это позволит решить экономические проблемы в стране, повысить эффективность топливно-энергетических и материальных ресурсов при производстве широкого спектра промышленной и сельскохозяйственной продукции, снизить энергопотребление создаваемых в РФ машин, промышленных и энергетических объектов.

Широкое внедрение возобновляемых нетрадиционных источников энергии решит четыре стратегических задачи общества: энергообеспечение, экологию, продовольствие, безопасность.

Современное общество к концу XX века столкнулось с энергетическими проблемами, приводящими к кризисным ситуациям. Поэтому человечество ищет новые источники энергии, которые были бы выгодны во всех отношениях: простота добычи, дешевая транспортировка, экологическая чистота, природная восполняемость. Уголь, нефть и газ отходят на второй план: их применение будет там где невозможно использовать что-либо другое.

Все традиционные ископаемые источники энергии обязательно закончатся, особенно при постоянном неограниченном росте их потребления. А наша планета, солнце, околоземное космическое пространство содержат океан энергии. Энергии бесплатной, безопасной и неисчерпаемой, которую нужно научиться отбирать и использовать без нарушения естественных природных процессов. А для этого нужно обладать новым инженерным мышлением, новыми знаниями. Нетрадиционная энергетика требует нетрадиционного мировоззрения и нетрадиционных подходов к решению сложных и чрезвычайно интересных инженерных задач во всех направлениях нетрадиционной возобновляемой энергетике.

Цель этого учебно-методического пособия помочь студентам сформировать этот нетрадиционный подход к решению проблем возобновляемой энергетике в России.

В пособии рассмотрены традиционные и нетрадиционные источники энергии, их запасы, приведена динамика потребления ресурсов в мире, обосновано место нетрадиционных источников в удовлетворении энергетических потребностей человека, указан путь их эффективного использования в России.

Методическое пособие содержит раздел основных терминов и определений энергетического, который даст возможность студенту свободнее ориентироваться в этой области народного хозяйства России.

## ГЛАВА 1. Основы мировоззрения инженера XXI века.

В результате научно-технической революции XX века на планете сложилась тяжелейшая экологическая ситуация. Сейчас весь мир говорит об экологии, мы все боремся за экологию, готовим специалистов экологов и специалистов по защите окружающей среды. Но мы не можем изменить достигнутый НТР, которые привели к существующей экологической ситуации на планете, потому что боремся не с причиной, а со следствиями. Эта ситуация представляет собой «экологический айсберг» (рис. 1.1). У этого «айсберга» есть «надводная часть» - это видимые экологические проблемы и процессы: загрязнение атмосферы, выбросы  $CO_2$ , загрязнение рек и водоемов, отравление почв, эрозия почв, вывод плодородных земель из сельскохозяйственных и т.д. Это экологические следствия, видимые, осязаемые, измеряемые, с которыми мы боремся. Но мы не боремся с причиной - «подводной частью экологического айсберга» - с современным мировоззрением человека, с современным инженерным мышлением, с создаваемой человеком техникой и технологиями жизнеобеспечения, с образом мыслей современной цивилизации, который лежит в основе способа её существования.

Способ существования современной цивилизации — это борьба с Природой. Каждая современная технология материального производства, каждый вид современной техники — это инструмент борьбы с Природой. Мышление нашей цивилизации поражено вирусом материализма. Это материалистическое мышление сформировало мировоззрение, в котором человек высшее существо во Вселенной. В соответствии с этим мировоззрением:

- человек вне Природы,
- человек над Природой,
- человек покоряет Природу.

Это мировоззрение еще в начале XX века провозгласил Мичурин: «Мы не можем ждать милости от Природы, наша задача взять их у неё». Плакаты с этим лозунгом в течение 75 лет висели в школах, в ВУЗах, в научно-исследовательских институтах, в Российской Академии Наук. Этот лозунг стал стратегией человечества на весь XX век. Результат этой стратегии — глубокий экологический кризис планеты - «экологический айсберг» с маленькой «надводной частью» видимых больших проблем и с огромной «подводной частью» причин по которым возникли эти проблемы.

Реализация невидимых экологических причин «экологического айсберга» осуществляется двумя социальными механизмами.

1. Потребительским сознанием человека, которое породило потребительское отношение к Природе. Потребности современного человека постоянно растут, постоянно увеличивая экологическую нагрузку на Природу. Даже если у человека нет потребностей (все удовлетворены), то изобретены социальные «инструменты» возбуждения в человеке новых потребностей, не свойственных ему. К этим «инструментам» относятся: реклама, маркетинг, методы продвижения товара на рынок,



Рис. 1.1. «Экологический айсберг» планеты Земля

формирование общественного мнения и т.д. Это «инструменты» разрушения гармоничных отношений человека с Природой.

2. Современным инженерным мышлением.

Современный инженер — это творец техники и технологий, но разрушитель Природы (с помощью этой техники и технологий).

Ярким подтверждением вышеизложенного является энергосистема России, которая порождает основные причины «экологического айсберга» России.

Российская ЕЭС — это порождение материалистического потребительского отношения к Природе и инженерного мышления индустриального глобализма начала развития СССР. ЕЭС России и добыча топливно-энергетических ресурсов для неё объективно оказывают негативное воздействие на природную среду и человека:

- изменяется ландшафт;
- потребляется большое количество пресной воды;
- потребляется большое количество кислорода;
- загрязняются все элементы окружающей среды продуктами сгорания, твердыми и жидкими отходами;
- создаются искусственные моря с огромными зеркалами воды;
- меняется климат;
- выводятся из оборота заливные луга поймы рек, как пастбища для скота сельскохозяйственных предприятий и сенокосы;
- выводятся из оборота огромные площади сельхозпредприятий;
- гниют водохранилища ГЭС, резко ухудшая экологию рек, воздействуя на окружающую природу и человека.

В России с производством энергии связано более 70% экологических проблем, более 70% всех вредных выбросов в атмосферу, более трети сточных вод и твердых отходов всех отраслей народного хозяйства.

Мы не сможем решить экологические проблемы планеты, не преобразовав мировоззрения человека, не изменив его инженерного мышления.

Инженер XXI века должен сформировать мировоззрение в котором он — единица Природы, живущая по Законам Вселенной, следовательно познание Законов Вселенной и использование их в своей инженерной деятельности должно стать основой инженерного мышления человека в XXI веке.

Основная задача инженера XXI века — сохранить гармонию в Природе при неограниченном развитии техники и технологий.

Техника и технологические процессы, которые Вы — инженеры XXI века будете создавать, должна проектироваться как искусственное продолжение естественных природных процессов, органично взаимодействуя с ними, не вырабатывая отходов и не вызывая экологического возмущения окружающей среды.

Энергетика — это основа существования человечества. Поэтому особое значение приобретают энергетические инженерные решения XXI века. Для того чтобы энергетические установки XXI века были гармонично встроены в Природу, необходимо чтобы они были искусственным продолжением естественных природных энергетических процессов: энергии ветра, энергии воды, энергии тепла земли, энергии солнца, гравитационной энергии планеты, космической энергии.

Все остальные виды получения энергии искусственные не присущи Природе, экологически опасны и должны быть заменены или остановлены: ТЭЦ, АЭС, ГЭС, ДЭС и т.д.

Поэтому развитие энергетики в XXI веке ориентируется на естественные природные возобновляемые виды энергетики: ветроэнергетику, малую гидроэнергетику, геотермальную энергетику, гелиоэнергетику, энергетику морских приливов.

Естественные виды энергии Планеты должны стать основой электростанций и теплоэлектростанций XXI века, заменив в итоге ТЭС, АЭС, ГЭС, ДЭС. Но, чтобы это реализовать в



жизнь общества, инженер XXI века должен стать Со-творцом с Природой, а не разрушителем её.

При такой стратегии инженерного мышления исчезает само понятие экологической защиты окружающей среды. Потому что эта защита будет «генетически» заложена в процесс инженерного мышления, в каждое инженерное решение на этапе проектирования технологического процесса, объекта или здания.

Поэтому в преддверии создания новой энергетики планеты данное пособие приобретает большую актуальность.

***Контрольные вопросы:***

1. Почему возник «экологический айсберг» Планеты?
2. Как Вы понимаете «надводную часть экологического айсберга»?
3. Как Вы понимаете «подводную часть экологического айсберга»?
4. Сформулируйте мировоззрение современного человека.
5. Дайте оценку взаимодействия современной техники (современных технологий) с Природой.
6. Дайте оценку места современного человека в Природе.
7. Дайте оценку современному инженерному мышлению.
8. Дайте определение понятию «Со-творец с Природой».
9. Сформулируйте стратегию инженерного мышления XXI века.

***Литература рекомендуемая для самостоятельного изучения:***

1. Плыкин В.Д. «Вначале было слово или след на воде». Ижевск. Издательство «Удмуртский Университет». 1995. 50 с.
2. Плыкин В.Д. Резонансная вихревая модель Вселенной. Интернет-ресурс: Google - запрос - Плыкин.

## ГЛАВА 2.

### Общая характеристика энергетики.

#### 2.1. Общие понятия.

#### ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНСТАНТЫ

Для измерения энергии и работы пользуются международной системой измерения СИ. Это означает, что в качестве основных единиц измерения энергии и мощности принимаются джоуль (Дж) и ватт (Вт). Если речь идет о больших количествах энергии, то будут использоваться МДж = 106 Дж, ГДж = 109 Дж, ТДж = 1012 Дж и ЭДж = 1018 Дж.

В энергетике для измерения давления используется Паскаль (Па) и традиционная атмосфера (атм).

Электроэнергию удобнее измерять в киловатт-часах (кВт.ч), а для экономических расчетов в международных оценках используются тонны условного топлива (т.у.т.)

Фундаментальные константы, используемые в энергетике представлены в таблице 2.1, а коэффициенты преобразования для различных единиц измерения энергии и мощности представлены в таблице 2.2.

**Таблица 2.1. Фундаментальные константы**

Величина	Обозначение	Значение	Единицы измерения
Число Авогадро	$N_0$	$6,0221367 * 10^{26}$	1/кмоль
Постоянная Больцмана	$k$	$1,380658 * 10^{-23}$	Дж * К <sup>-1</sup>
Заряд электрона	$q$	$1,60217733 * 10^{-19}$	Кл
Газовая постоянная	$R$	8314,510	Дж * кмоль <sup>-1</sup> * К <sup>-1</sup>
Гравитационная постоянная	$G$	$6,67259 * 10^{11}$	м <sup>3</sup> * с <sup>-2</sup> * кг <sup>-1</sup>
Постоянная Планка	$h$	$6,6260755 * 10^{-34}$	Дж * с
Магнитная проницаемость вакуума	$\mu_0$	$4 * 10^{-7}$	Н/м
Диэлектрическая проницаемость вакуума	$\epsilon_0$	$8,854187817 * 10^{-12}$	Ф/м
Скорость света	$c$	$1,99792458 * 10^8$	м * с <sup>-1</sup>
Постоянная Стефана-Больцмана	$\mu$	$5,67051 * 10^{-8}$	Вт * К <sup>-4</sup> * м <sup>-2</sup>

**Таблица 2.2. Коэффициенты пересчета единиц в систему СИ**

Энергия		
Нефтяной баррель	ГДж	~6
Британская тепловая единица	Дж	1055,87
Калория	Дж	4,18674
Электрон-вольт	Дж	$1,60206 * 10^{-19}$
Эрг	Дж	$1,0 * 10^{-7}$
Киловатт-час	Дж	$3,6 * 10^6$
Тонна тринитрона	Дж	$4,2 * 10^9$
Мощность		
Лошадиная сила	Вт	746
Другие		
Атмосфера	Па	$1,0133 * 10^5$
Дальтон	кг	$1,660531 * 10^{-27}$

## ЭНЕРГИЯ И ЕЁ КАЧЕСТВО

В Северной Калифорнии, обладающей большими лесными массивами в 1990 г. 1 м<sup>3</sup> дров стоил около 100 долл. Теплота сгорания древесины от 14 до 19 МДж/кг. Таким образом в расчете на 1 ГДж стоимость энергии, получаемой при сгорании древесины, составляла 3 долл./ГДж.

В то же время в том же 1990 году стоимость бензина в США около 1,2 долл. за галлон, что эквивалентно 0,5 долл. за 1 кг. Теплотворная способность бензина 50 Мдж/кг, что соответствует удельной стоимости энергии, содержащейся в бензине, около 10 долл./ГДж, т.е. в 3 раза больше, чем в варианте с дровами.

Стоимость электроэнергии для бытовых потребителей там же в 1990 году была равна 4 цента за 1 кВт. ч. или около 11 долл. за 1 Гдж.

Приведенные выше примеры показывают, что за энергию приходится платить тем большую цену, чем выше её качество.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ПЛАНЕТЫ.

Относительная стабильность температуры Земли свидетельствует о балансе энергии, приходящей к ней из Космоса и преобразуемой атмосферой и самой планетой в другие виды энергии. основную часть энергии поступающей на землю, составляет солнечное излучение. Поток энергии солнечного излучения к Земле оценивается в 173 000 Твт ( $173\ 000 \cdot 10^{12}$  Вт).

Кроме солнечной энергии на Землю извне поступает энергия космического пространства, энергия приливов, возникающих из-за гравитационного влияния Луны. Средняя мощность потока гравитационной энергии составляет около 3 Твт. Внутренним источником энергии Земли является тепловая энергия, как энергия преобразованного внутри Земли космического излучения (32 Твт).

Около 52 000 Твт (30% поступающего солнечного излучения) отражается атмосферой и поверхностью Земли обратно в Космос.

Основные процессы, характеризующие энергобаланс планеты показаны на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Энергетический баланс Планеты

## ВОЗРАСТАЮЩИЕ ТЕМПЫ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ.

Темпы преобразования человеком энергии из одного её вида в другой с течением веков непрерывно возрастают. Так, в древние времена человек не умел использовать даже энергию огня. Он получал энергию исключительно через пищу, поглощая в день приблизительно около 2000 ккал., что соответствует мощности 100 Вт.

Значительно позже, когда люди стали пользоваться огнем, энергетическое потребление увеличилось примерно до 300 Вт в расчете на одного человека.

В Месопотамии 4000 лет до н.э., где люди занимались примитивным сельским хозяйством, впервые стали использовать энергию животных для транспортировки грузов, подъема воды и орошения полей. Солнечная энергия стала применяться для изготовления строительных материалов из глины. Таким образом, энергетическая мощность, которую стал потреблять человек, увеличилась до 800 Вт.

Получение полезной энергии с помощью ветра, воды и огня известно с древних времен. Так энергию ветра стали применять для плавания на катамаранах и небольших парусных лодках ещё за 3000 лет до н.э. А ветряные мельницы в Египте строились за 400 лет до н.э.

В конце третьего века нашей эры ветряные мельницы получили широкое распространение в Персии. К тем же временам относится описание простейших двигателей, которые использовались для привода механических устройств.

Витрувий, известный римский архитектор и инженер, описал принцип работы водяной турбины, которую использовали для орошения полей.

К 1200 году мощность используемой человеком энергии увеличилась до 2 Квт и с XIII века потребление энергии стало расти высокими темпами.

На рис. 2.2. представлена оценка изменения мощности, которую использовал человек для своих нужд с течением времени.

Основанные на этих данных результаты оценки изменения темпов использования энергии человеком представлены на рис. 2.3.

До XIX века темпы роста использования энергии оставались постоянными (менее 1% в год), а после начала промышленной революции темпы роста энергопотребления получили огромное ускорение см. рис 2.3.

Одной из основных движущих сил, приведшей к такому резкому увеличению темпов потребления энергии в XX в., стала относительно низкая цена нефти. Однако уже в середине прошлого века наступило понимание того, что быстрое истощение мировых запасов дешевой нефти может вызвать глобальный экономический кризис. В 1954 году была учреждена организация стран-экспортеров нефти (ОПЕК), которая формировалась не как картель для извлечения материальной прибыли, а как организация для «предотвращения хищнического потребления нефти и гарантирующая её разумное гуманное распределение в течение времени, необходимого для создания экономики на основе возобновляемых источников энергии».

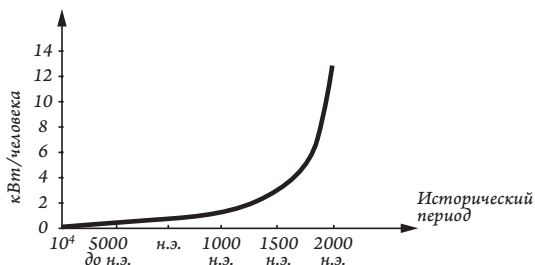


Рис. 2.2. График изменения мощности потребляемой человеком с течением времени

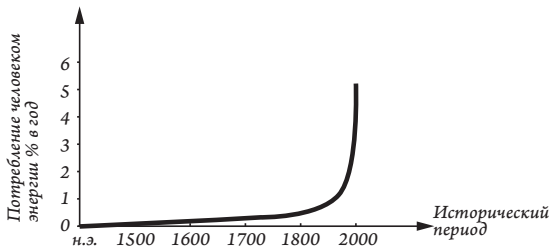


Рис. 2.3. График изменения темпов роста потребления человеком энергии в течение указанного исторического периода

ОПЕК решает две задачи:

- регулирование цен на нефть с целью развития мировой экономики;
- сокращение темпов потребления нефти.

Так в США и в Европе удельное (в расчете на одного жителя) энергопотребление в последние десятилетия практически не возрастает. Это связано прежде всего с изменением характера и структуры основных производств и изготавливаемой продукции. Так, в США тяжелая промышленность (производство стали и пр.) в конце прошлого века выводилась за пределы страны, тогда как высокотехнологичные и малоэнергоёмкие отрасли (электроника, генная инженерия, компьютерная техника) переживали бурный рост.

## РОСТ НАРОДОНАСЕЛЕНИЯ ПЛАНЕТЫ

В предыдущем разделе рассмотрены темпы роста потребления энергии в расчете на одного человека. суммарное энергопотребление пропорционально численности населения Земли, которое также растёт ускоренными темпами (10 декабря 1999 г. по данным ООН, родился 6-миллиардный житель Земли).

Резкий рост населения планеты является одной из серьёзных проблем. Сейчас ежегодная скорость прироста населения планеты составляет 1,4% в год. Эта тенденция сохранится даже в том случае, если прямо сейчас каждый житель земли согласится иметь не более двух детей в семье. При выполнении этих «обязательств» население Земли стабилизируется на уровне 11 млрд. человек лишь к 2050 г.

Такое ограниченное увеличение численности населения вызовет рост спроса на энергию примерно 1,4% в год.

Если к 2050 г. каждый из 11 млрд. жителей будет иметь потребность в энергии на уровне современного жителя США (11 кВт), то общее энергопотребление вырастет до 122 ТВт, что в 15 раз больше современного энергопотребления (около 8 ТВт). Такой рост производства энергии возможен только исключительно при использовании всех видов свободной энергии Природы земли и их эффективного преобразования на основе НВИЭ.

## 2.2. Термины и определения

В учебных научно-технических и справочных изданиях, а так же в нормативных документах, относящихся к энергетике, часто используют общетехнические и специальные термины, смысловое содержание которых читателю данного пособия необходимо знать.

**Энергетика** — отрасль народного хозяйства, охватывающая энергетические ресурсы: выработку, преобразование и использование различных видов энергии.

**Теплоэнергетика** — отрасль теплотехники занимающаяся преобразованием тепловой энергии в другие виды энергий (механическую, электрическую).

**Температура** — физическая величина, характеризующая степень нагретости тела. С молекулярно-кинетической точки зрения температура есть мера интенсивности теплового движения молекул. Численное значение температуры связано с величиной средней кинетической энергии молекул.

**Температурное поле** — совокупность значений температуры во всех точках рассматриваемого тела в данный момент времени.

**Изотермическая поверхность** — поверхность внутри тела или на его границах, имеющая одинаковую температуру.

**Давление** — взаимодействие молекул рабочего тела с поверхностью. Численно оно равно силе, действующей на единицу площади поверхности тела по нормали к ней.

В системе СИ давление выражается в паскалях ( $1 \text{ Па} = 1 \text{ н/м}^2$ ), в технических атмосферах ( $1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 105 \text{ Па}$ ).

**Отопление** — процесс поддержания нормируемой температуры воздуха в закрытых помещениях.

**Система отопления** — техническая установка, состоящая из комплекта оборудования, связанного между собой конструктивными элементами, предназначенная для получения, переноса и передачи заданного количества теплоты в обогреваемое помещение.

**Теплопотребляемая установка** — комплекс устройств, использующих тепловую энергию для отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, кондиционирования воздуха и технологических нужд.

**Теплоснабжение** — обеспечение потребителей тепловой энергией.

**Теплосчетчик** — прибор или комплект приборов (средств измерения), предназначенный для определения количества теплоты и измерения массы и параметров теплоносителя.

**Узел учета** — комплект приборов и устройств, обеспечивающий учет тепловой энергии, массы (объема) теплоносителя, а так же контроль и регистрацию его параметров.

**Потребитель тепловой энергии** — юридическое или физическое лицо, которому принадлежит теплопотребляющие установки, присоединенные к системе теплоснабжения энергообеспечивающей организации.

**Система теплоснабжения** — совокупность взаимосвязанных источника теплоты, тепловых сетей и систем теплопотребления.

**Система теплопотребления** — комплекс теплопотребляющих установок с соединительными трубопроводами или тепловыми сетями.

**Тепловая сеть** — совокупность трубопроводов и устройств, предназначенных для передачи тепловой энергии.

**Виды тепловых нагрузок** — отопительная, вентиляционная, технологическая, кондиционирование воздуха, горячее водоснабжение.

**Водосчетчик** — измерительный прибор, предназначенный для измерения массы (объема) воды, протекающей в трубопроводе через сечение, перпендикулярное направлению скорости потока.

**Водоохранная зона** — территория, выделяемая для охраны водных источников от загрязнения и истощения.

**Водопользование** — использование водных ресурсов для нужд населения и народного хозяйства в порядке, установленном водным законодательством.

**Биомасса** — выраженное в единицах массы (веса) или энергии количество живого вещества тех или иных организмов, приходящееся на единицу площади или объема.

**Биосфера** — часть географической оболочки земли, где обитают живые организмы. Верхняя граница биосферы находится на высоте 10 — 12 км от земной коры, нижняя на глубине 2 — 3 км в нефтеносных водах.

**Землеустройство** — система государственных мероприятий по организации наиболее полного, рационального и эффективного использования земли.

**Кадастр земельный** — совокупность сведений о земле, отображающих важные для сельскохозяйственной деятельности земли и их класс (количество, качественное состояние, хозяйственную ценность, правовое положение).

**Кадастр водный** — свод сведений о водных ресурсах и источниках страны. Включает географическое описание, запасы, качество и режим вод в них.

**Оценка природных ресурсов кадастровая** — определение денежной цены природного ресурса как результат теоретических исследований и подсчетов.

**Оценка природных ресурсов эколого-экономическая** — определение экономической ценности естественного ресурса с учетом экологических последствий его использования и последующих потерь или выигрышей в цепи экологических изменений, вызванных эксплуатацией ценного ресурса.

**Охрана природы** — система государственных, общественных и международных мероприятий, обеспечивающих рациональное использование природных ресурсов, умножение и охрану природных ресурсов от разрушения и истощения.

**Электрическая станция** — промышленное предприятие, вырабатывающее электроэнер-

нергию и обеспечивающее её передачу потребителям по электрической сети. На электростанции происходит преобразование энергии какого-либо природного источника в механическую энергию вращения турбины и далее с помощью электрических генераторов — в электрическую энергию. В зависимости от того, какой природный источник энергии используется, выбирается тип электростанции.

**Теплоэлектростанция (ТЭС)** — преобразует теплоту, выделяющуюся при сжигании топлива в электроэнергию.

Первые ТЭС появились в конце XIX века (в 1882 г. — в Нью-Йорке, в 1883 г. — в Петербурге, в 1884 г. — в Берлине) и получили преимущественное распространение. В настоящее время более 50% всей электроэнергии мира производится на тепловых электростанциях. большинство городов России снабжаются ТЭЦ — теплоэлектроцентралями, производящими не только электроэнергию, но и тепло в виде горячей воды.

Такая система является довольно-таки непрактичной, так как в отличие от электрокабеля надежность теплотрасс чрезвычайно низка на больших расстояниях и характеризуются большими потерями тепла, что снижает КПД ТЭЦ до 50-60%.

**Гидроэлектростанция (ГЭС)** — преобразует естественные водные ресурсы реки в гидроэнергетические ресурсы с помощью строительства гидротехнических сооружений. Гидроэнергетические ресурсы используются в турбине и превращаются в механическую энергию, механическая энергия используется в генераторе и превращается в электрическую энергию. Гидроэлектростанции находятся на втором месте по количеству вырабатываемой электроэнергии. Они производят наиболее дешёвую электроэнергию, но имеют довольно большую стоимость и длительность строительства. Именно ГЭС позволили СССР в первые десятилетия совершить большой прорыв в развитии социалистической промышленности.

**Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)** — их действие основано на циклическом перемещении одного и того же объема воды между двумя бассейнами: верхним и нижним. В ночные часы, когда потребность в электроэнергии мала, вода перекачивается из нижнего водохранилища в верхнее потребляя излишки производимой электроэнергии. Днём, когда резко возрастает потребление электричества, вода сбрасывается из верхнего водохранилища вниз, через турбины, вырабатывая при этом электроэнергию. Это выгодно, так как остановки ГЭС в ночное время невозможны. Таким образом, ГАЭС позволяет решить проблему пиковых нагрузок.

**Приливные электростанции (ПЭС)** Природа сама создает условия для получения напора, под которым может быть использована вода морей. В результате приливов и отливов между поверхностями бассейна и моря образуется разница уровней (до 13 метров) и таким образом создается напор. Главным недостатком таких станций является вынужденный режим работы. Приливные электростанции дают свою мощность не тогда, когда этого требует потребитель, а в зависимости от приливов и отливов воды. Велика также стоимость сооружения таких станций.

**Атомная электростанция (АЭС).** Первая в мире АЭС — Обнинская была пущена в 1954 году в России. Самый потенциально опасный вид электростанций. С момента чернобыльской катастрофы 1986 года прекратилось их проектирование и строительство. С развитием и широкомасштабным распространением по России электростанций на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии необходимо заглушить все реакторы атомных электростанций.

**Нетрадиционные возобновляемые источники энергии (НВИЭ)** следует рассматривать как альтернативу традиционной энергетике, решающие энергетические, экологические, продовольственные, социально-экономические задачи и задачи безопасности страны.

К НВИЭ в мировой практике относят: солнечную, ветровую, геотермальную, гидравлическую, энергию морских приливов, волн, течений, термоэлектрическую энергию, энергию температурного градиента морской воды, низкотемпературного тепла Земли, воздуха,

рек, озер, сбросовых технологических и бытовых вод; биомассу животного, растительного и бытового происхождения, твердые бытовые отходы, топливные элементы и водородную энергетику.

За последние годы в мире особенно заметен научно-технический прогресс в сооружении установок по использованию НВИЭ и в первую очередь: фотоэлектрических преобразований солнечной энергии, ветроэнергетических агрегатов и биомассы. Масштабы исследований и реализации проектов использования в мире НВИЭ можно характеризовать следующими примерами.

Сейчас в мире действует более 100 000 ветроэлектростанций мощностью 2 500 МВт, более 16 000 – в США; 233 ГеоТЭС суммарной мощностью 5 136 МВт, строятся 117 ГеоТЭС мощностью 2 017 МВт.

Согласно прогнозу Мирового энергетического конгресса на долю НВИЭ в 2020 году придется 1150 – 1450 млн. т.у.т. (5,6 – 5,8% общего потребления). При этом прогнозируются следующие доли каждого вида НВИЭ:

- биомасса – 35%;
- солнечная энергия – 13%;
- гидроэнергия – 16%;
- ветроэнергия – 18%;
- геотермальная энергия – 12%;
- энергия океана – 6%.

Предполагается довести долю НВИЭ в общем энергобалансе по различным странам (2008 г.):

- США - до 20%;
- Великобритания – до 20%;
- Япония – до 7%;
- Германия – до 12%.

В то же время отмечается серьезное отставание России от зарубежных стран по масштабам освоения НВИЭ.

В СССР в 1990 г. планировалось за счет НВИЭ заместить 4 млн. т.у.т. (органического топлива), фактически заместили около 1 млн. т.у.т., что составило около 0,05% от общего энергопотребления.

Согласно Основным положениям экономической стратегии РФ планируется увеличить долю НВИЭ (от общего энергопотребления):

- 2000 г. – (0,3 – 0,4)% ( 4 – 6 млн. т.у.т.)
- 2010 г. – (0,6 – 1)% ( 10 – 17 млн. т.у.т.)
- 2020 г. – (1,5 – 2)% ( 20 – 34 млн. т.у.т.)

Эти прогнозные оценки роста доли НВИЭ значительно ниже мировых. Следовательно Россия будет интенсивно терять свои мировые позиции по экономике, экологии, энергетике, промышленности и т.д.

Представляет интерес состояние и прогноз данных о себестоимости электроэнергии на основе НВИЭ (Renewable Sources of Energy, Paris), а также сравнительные оценки удельных капиталовложений на строительство электростанций.

Себестоимость электроэнергии в долл. США / КВт.ч.

№ п.п.	Виды энергоресурсов	Годы			
		1980	1990	2000	2010
1.	Ветровая энергия	0,25	0,07	0,04	0,01
2.	Солнечная энергия (тепловая)	0,24	0,12	0,05	0,03
3.	Солнечная энергия (фотоэлектрическая)	1,5	0,35	0,06	0,02



Сравнительные оценки удельных капиталовложений на строительство электростанций в долл. США / кВт.

№ п.п.	Типы станций	годы		
		1980	2000	2020
1.	Геотермальные	2000	2200 - 2500	1900 - 2000
2.	Малые ГЭС	1500 - 2000	2000 - 2500	1200 - 1700
3.	Ветровые	4000	900 - 1000	600 - 700
4.	Солнечные термодинамические	1200 - 1500	1400 - 1900	1100 - 1200
5.	Солнечные фотоэлектрические	50000	5000	1500 - 3000

Энергетический кризис 1973 года ознаменовал собой резкий перелом в энергетической стратегии промышленно развитых стран входящих в Организацию экономического сотрудничества и развития (ОЭСР): Австралия, Австрия, Бельгия, Великобритания, Германия, Греция, Дания, Ирландия, Исландия, Испания, Италия, Канада, Люксембург, Нидерланды, Норвегия, Новая Зеландия, Португалия, США, Турция, Финляндия, Франция, Швейцария, Швеция, Япония.

До кризиса развитие экономики большинства этих стран проходило по энергозатратному пути. Темпы роста энергопотребления превышали темпы экономического роста, в результате чего ещё возрастало или сохранялась высокая энергоёмкость валового внутреннего продукта (ВВП). Например в Японии, в период «японского экономического чуда» (1960 — 1973 г.г.) энергоёмкость ВВП увеличилась в среднем на 0,9% в год при относительном приросте ВВП и потребления первичных ТЭР на 9,6% в год. Резкий рост цен на мировом топливном рынке в 1973 — 2006 г.г. вынудил промышленно развитые страны, прежде всего импортирующие значительные объёмы нефти и нефтепродуктов, разрабатывать и реализовывать меры по снижению темпов роста затрат на закупки энергоносителей за рубежом. К таким мерам, которые на сегодня уже реализованы, можно отнести:

- повышение уровня самообеспечения ТЭР путём расширения добычи и использования национальных энергетических ресурсов;
- усиление влияния государства на интенсификацию активности предприятий и организация различных форм собственности и частных лиц в сфере энергообеспечения с помощью ряда законодательных актов, инвестиционной и налоговой политики, а так же принятия ряда запретительных мер, расширения стандартизации в сфере энергообеспечения в различных объектах экономики и в быту;
- увеличение финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по созданию и внедрению энергетически эффективных технологий, оборудования и материалов из средств государственного бюджета;
- осуществление структурных изменений в энергетическом балансе и в экономике в целом путем замещения дефицитных видов органического топлива (в первую очередь нефти) альтернативными источниками энергии (углем, природным газом, атомной энергией) и снижением удельного веса энергоёмких материалов — производящих отраслей в суммарном объеме ВВП;
- расширение пропагандисткой, информационной и тренинговой деятельности в области энергопотребления и энергосбережения;
- снижение энергопотребления за счет структурных изменений во внешней торговле в направлении увеличения доли импорта энергоёмкой продукции при одновременном сокращении её национального производства.

Главными результатами проведения комплекса этих мероприятий помимо снижения энергоёмкости ВВП для промышленно развитых стран, стали: существенный (за исключением США) рост уровня самообеспечения первичными энергоресурсами, снижение зависимости от нефти, динамическое развитие атомной энергетики, значительное увеличение доли электротехнологий в различных отраслях экономики, а также ускоренное развитие наукоёмких отраслей на фоне замедления, а часто и остановки работ в сфере энергоёмких отраслей.

Ярким примером последовательного проведения структурной перестройки экономики с целью её перевода на энергоберегающий путь развития является Япония. В конце 70-х годов XX в. в стране производилось около 1 млн. тонн алюминия в год, в настоящее время она полностью перешла на его импорт. Производство стали, меди, цинка и свинца в течение многих лет не расширяется. Во внешней торговле возросла доля энергоёмких товаров, ввозимых в страну и соответственно увеличилась доля экспортируемой продукции.

Одновременно с этим в Японии было обеспечено снижение удельного расхода топлива легковыми автомобилями в среднем на 35 – 40% (с середины 70-х годов по настоящее время), сокращение на 50% потребления электроэнергии воздушными кондиционерами, цветными телевизорами, холодильниками и другими электробытовыми приборами.

Сейчас человечество подходит к такому же переломному моменту в мировой энергетике. Только в основе перелома не энергосбережение, а радикальные преобразования и замена традиционной энергетики с большими энергетическими потерями и с большими экологическими проблемами на нетрадиционную возобновляемую природную энергетику всех видов.

Этот перелом в энергетике – веление времени. Сама природа планеты требует этого.

## НЕОБХОДИМОСТЬ ПЕРЕСТРОЙКИ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ НА ОСНОВЕ НВИЭ.

Традиционное (потребительское по отношению к Природе) инженерное мышление породило традиционную энергетику России, а традиционная энергетика породила «экологический айсберг» в России. Единственно правильное инженерное решение - развитие альтернативной энергетики России на основе НВИЭ и постепенное замещение и вывод из эксплуатации ГЭС, АЭС, ТЭЦ, ДЭС.

Из вышеизложенного материала мы видим, что правительство России очень вяло занимается НВИЭ. Здесь уместно заметить, что без активного участия правительства и без бюджетных средств невозможно строить или модернизировать такие громадные объекты энергетики как ГЭС, ТЭЦ, АЭС. А такое направление в энергетике как НВИЭ можно активно и широко развивать российским обществом без бюджетного государственного финансирования на уровне ОАО, ООО, частными лицами и т.д.

Производством и внедрением ветроэнергетических установок, малых ГЭС, микро ГЭС, геотермальных малых установок, тепловых насосов всех конфигураций может заниматься средний и малый бизнес. Причем чем шире в стране развивается эта компания, тем эффективнее страна будет решать накопившиеся эколого-энергетические и социальные проблемы.

Задача правительства России – обеспечить законодательную базу и налоговое стимулирование этого процесса. А так же обеспечение государственного кредитования предприятий производителей изделий НВИЭ и налоговыми льготами потребителей этих изделий.

Инициаторами создания предприятия по производству и внедрению НВИЭ должны быть выпускники инженерных специальностей технических университетов: «Инженерная защита окружающей среды» и «Энергообеспечение нетрадиционными возобновляемыми источниками энергии».

Следует заметить, что создать и возглавить такое предприятие имеет моральное право только человек с новым мировоззрением, с инженерным мышлением Со-Творца Природы.

В противном случае это будет традиционное предприятие ориентированное на деньги, а не на решение экологических и энергетических проблем России. В этом случае эффект

будет отрицательным, т.к. цель предприятия выбрана неверно.

На фоне постоянного роста цен на электроэнергию (от традиционных электросетей) и на теплоснабжение (традиционное) — электростанции, теплостанции и тепловые насосы на основе НВИЭ будут иметь постоянный спрос.

### ***Контрольные вопросы.***

1. Сформулируйте понятие качества энергии.
2. Охарактеризуйте энергетический баланс Планеты.
3. Охарактеризуйте темпы энергопотребления на Планете.
4. Охарактеризуйте динамику народонаселения Планеты и её связь с энергопотреблением.
5. Какие виды энергии относят к возобновляемым?
6. Чем вызван мировой энергетический кризис 1973 года?
7. К каким мерам прибегли правительства промышленно развитых стран для борьбы с кризисом 1973 года?
8. Есть ли необходимость перестройки энергетики России на основе возобновляемых источников энергии?

### ***Задачи для самостоятельного решения.***

1. Скорость годового прироста энергопотребления в мире в период между 1950 и 1973 годами составляла 3,5%. Сколько лет нам потребуется для того чтобы израсходовать все доступные запасы топлива, если годовая скорость прироста энергопотребления останется в будущем на том же уровне 3,5%?

2. Одной из главных экологических проблем является эмиссия парниковых газов, среди которых главным является  $\text{CO}_2$ . На электростанциях обычно используется сжигание природного газа или угля. Природный газ состоит главным образом из метана  $\text{CH}_4$ , а уголь имеет химическую формулу  $\text{C}_{20}\text{H}_{42}$ . Высшая теплопроводная способность метана 55,6 МДж/кг, а  $\text{C}_{20}\text{H}_{42}$  - 47,2 МДж/кг. Какой из данных видов топлива является более экологически чистым?

3. Заправка 50-литрового бака легкового автомобиля бензином в настоящее время занимает 5 минут. Какое количество энергии (в виде бензина) и с какой скоростью поступает в бак автомобиля?

### ***Рекомендуемая литература для самостоятельного изучения.***

1. А. да Роза. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. М. Издательский дом «Интеллект». 2010 - 703 с.

2. Безруких П.П. Экономика возобновляемой энергетики // Энергия: экономика, техника, экология, №10. С.2-6

## ГЛАВА 3.

### Использование энергии ветра

#### 3.1. Развитие ветроэнергетики в мире

Энергия ветра на планете оценивается в 175 – 219 тыс. ТВт.ч. в год, при этом развиваемая им мощность достигает  $(20 - 25) \cdot 10^9$  кВт. Это примерно в 2,7 раза больше суммарного расхода энергии на планете. Считают, что полезно может быть использовано только 5% этой энергии, а в настоящее время используется значительно меньше.

Использование энергии ветра – динамично развивающаяся сегодня отрасль мировой энергетики. Если суммарная установленная мощность ветроэнергетических установок (ВЭУ) в мире в 2000 г. составила 17,8 ГВт, то в 2005 г. она достигла уже 59,27 ГВт. Темпы развития ветроэнергетики во всем мире в 2005 г. значительно увеличились. Мощность вновь введенных ВЭУ составила 11408 МВт, что превышает показатель предыдущего года на 40%. В последние годы происходит ускоренное развитие ветроэнергетики в неевропейских странах.

В Европе, где в последние 10 лет темпы развития ветроэнергетики были также довольно высоки, ситуация стабилизировалась на высоком уровне и ввод в 2005 г. 6372 МВт ВЭУ обеспечил прирост мощности примерно на 8% по сравнению с 2004 г. С долей 69% Европа остаётся лидирующим континентом по производству энергии от ВЭУ. Ведущими странами являются Германия и Испания. Из 6373 МВт, введено в 2005 г., 3572 МВт (56%) приходится на эти две страны.

В 2007 г. Наибольшее число ВЭУ внедрили США. За год мощность ВЭУ увеличили на 5215 МВт и по суммарной установленной мощности они вышли на второе место в мире.

Тенденцией последних десятилетий является непрерывный рост единичной мощности сетевых ВЭУ. Ещё 15 лет назад типичной ВЭУ в составе ветроэлектростанций была установка мощностью 300 – 500 кВт. В 2000 – 2002 г.г. серийной стала ВЭУ мощностью 1 – 1,2 МВт. Это приводит к снижению стоимости установленного киловатта, которая сегодня находится на уровне 1000 долл. за 1 кВт.

В 1998 г. немецкая компания Sudwind выпустила на рынок ВЭУ мощностью 1,8 МВт.

В середине 1999 г. компания NEG Micon установила ВЭУ мощностью 2 МВт. с диаметром ротора 72 м. Эта компания на выставке в Мадриде продемонстрировала ВЭУ мощностью 4,2 МВт.

Сегодня несколько компаний производят ВЭУ с мощностью в интервале 3 – 5 МВт. Это гиганты с диаметром ротора более 100 м. и с высотой башни около 100 м. Например, ВЭУ NEG Micon NM 110/4200 мощностью 4,2 МВт имеет ротор диаметром 110 м весом 69 т. с тремя лопастями длиной 54 м. каждая.

С 1995 года установленная мощность ВЭУ в мире увеличилась почти в 20 раз: с 4800 МВт до 93849 МВт на конец 2007 г. Расширение мирового рынка ВЭУ привело к значительному падению цен на энергию, производимую ветром.

#### 3.2. Сведения о ветровом кадастре России

Сфера экономически целесообразного применения ветроустановок в современных условиях ограничивается в основном, районами, имеющими децентрализованное энергоснабжение, благоприятные ветровые условия и возможность эксплуатации ветроустановок в течение большей части года.

Энергетические ветровые зоны в России расположены, в основном, на побережье и островах Северного Ледовитого океана от Кольского полуострова до Камчатки, в районах Каспийского моря, нижней и средней Волги, на побережье Охотского, Баренцева, Черного и Азовского морей и составляют почти 5 млн. км<sup>2</sup>. Валовой ветровой потенциал оценивается в  $80 \cdot 10^{15}$  кВт. ч/г., технический потенциал – в  $6,2 \cdot 10^{15}$  кВт. ч/г., экономический потенциал – в  $31 \cdot 10^{12}$  кВт. ч/г. При этом длительность действия энергетического потока ветра составляет от 2000 до 5000 часов в год.

Акционерное общество «НЕТРА ЭЛ» с привлечением ряда организаций разработало «Атлас ветропотенциала России». Около 30% экономического потенциала ветроэнергетики сосредоточено на Дальнем Востоке, примерно по 16% в Восточной и Западной Сибири, 14% - в Северном экономическом районе и менее 5% - в остальных регионах России.

Наиболее перспективными для размещения ветроэнергетических установок являются побережья морей и участки их шельфов. На шельфах морей удельная мощность ветрового потока достигает 1000 – 1500 Вт/м<sup>2</sup>, а на побережьях – 500 – 1000 Вт/м<sup>2</sup>, в то время как в глубинных районах удельная мощность ветрового потока составляет 100 – 500 Вт/м<sup>2</sup>.

### 3.3. Расчёт ветроэнергетической установки

Кинетическую энергию Экин (Дж) воздушного потока со средней скоростью V (м/с), проходящего через поперечное сечение F (м<sup>2</sup>) перпендикулярное V, и массой воздуха m (кг) рассчитывают по формуле:

$$Э_{кин} = \frac{mV^2}{2} \quad (3.1)$$

Величину m определяют по формуле

$$m = \rho * V * F \quad (3.2)$$

где  $\rho$  плотность воздуха в кг/м<sup>3</sup>

При расчетах  $\rho$  часто принимают за её значение, равное 1.226 кг/м<sup>3</sup> соответствующее нормальным климатическим условиям:

t = 150°С,  $\rho$  = 760 мм рт. ст. или 101,3 кПа. Если в (3.1) в качестве m принять секундную массу воздуха (кг/с), то получим значение мощности, развиваемое потоком воздуха (Дж/с или Вт), т.е.

$$N = 0,5 \rho V^3 F \quad (3.3)$$

Для F = 1 м<sup>2</sup> получаем значение удельной мощности (Вт) ветрового потока N уд (Вт/м<sup>2</sup>) со скоростью V (м/с):

$$N_{уд} = 0,5 \rho V^3 \quad (3.4)$$

В ветроэнергетике обычно используют рабочий диапазон скоростей ветра, не превышающих 25 м/с. Эта скорость соответствует 9 бальной ветру (шторм) по 12 – бальной шкале Боффорта. Ниже приведены значения N уд для указанного рабочего диапазона скоростей ветра:

V	м/с	2	3	4	5	10	14	18	20	23	25
N уд	Вт/ м <sup>2</sup>	4,9	16,55	39,2	76,6	613	1682	3575	4904	7458	9578

Для ориентировочных расчетов в диапазоне скоростей ветра от V<sub>рmin</sub> до V<sub>рN</sub> полезную мощность N ВЭУ (кВт) для заданной скорости ветра V (м/с) на высоте башни H<sub>б</sub> (м) и диаметре ротора ВЭУ D (м) рассчитывают по формуле:

$$N_{вэу} = N_{уд} * F_{вэу} * \eta_r * \eta_g * \xi * 10^{-3} \quad (3.5)$$

где N уд (Вт/м<sup>2</sup>) определяют по (3.4);

F ВЭУ (м<sup>2</sup>) – ометаемая площадь ВЭУ с горизонтальной осью вращения, вычисляют по формуле:

$$F_{вэу} = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.6)$$

$\xi$  – коэффициент мощности, обычно применяют равным 0,45 в практических расчетах, отн. ед;

$\eta_r$  – КПД ротора (0,9),  $\eta_g$  – КПД генератора (0,95)

После подстановки всех указанных значений в (3.5) получаем для ориентировочных расчетов:

$$N_{вэу} = 1,85 D^2 V^3 \quad (3.7)$$

Для малых ВЭУ V<sub>рmin</sub> находится в пределах 2,5 – 4 м/с, а V<sub>рN</sub> в пределах 8 - 10 м/с. Для крупных ВЭУ указанные значения составляют 4 - 5 м/с и 12 – 15 м/с соответственно.

Предельно допустимая скорость ветра по соображениям прочности ВЭУ равна 60 м/с.

ВЭУ в составе ветровых электростанций (ВЭС) нужно располагать на расстоянии не

менее пяти диаметров ротора одна от другой. Если ВЭУ располагаются в ряд перпендикулярно направлению доминирующих ветров, то расстояние между ними может быть сокращено до четырех диаметров ротора.

Разработанные отечественные конфигурации ВЭУ являются абсолютно чистыми источниками энергии. Вращение ветротурбин у них значительно медленнее, чем у изготовленных зарубежных ВЭУ, что обеспечивает безопасность перелетов птиц, а также не вызывает появления инфразвуковых волн, вредных для животных и человека.

### 3.4. Расчет ветроэнергетических ресурсов региона.

#### 3.4.1. Характеристики скорости ветра

Этот расчет будет представлен на примере острова Харлов Мурманской области. Остров Харлов расположен в Баренцевом море вблизи северного побережья Кольского полуострова, относится к районам с самым высоким в России уровнем удельной ветровой энергии. Характерной особенностью ветровой обстановки является сезонная неравномерность скоростей ветра, соответствующая тому, что интенсивность ветра в осенние и зимние месяцы значительно выше чем в летние. Значения среднемесячной скорости ветра  $\langle V_i \rangle$  м/с на о. Харлов (на высоте флюгера 10 м) сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$V_i$	12,8	12,2	10,5	9,1	8,0	6,6	6,2	6,8	7,9	9,5	10,2	11,1

Средняя скорость ветра в каждом месяце превышает значение 5 м/с, определяющее границу эффективности ВЭУ, причем совпадение максимума скоростей ветра с сезонным пиком потребления тепловой и электрической энергии является весьма важным для практического использования ветровой энергии.

Местность о. Харлов характеризуется высокой степенью открытости, а роза ветров довольно широка с некоторым преимуществом юго-западного направления ветра. Повторяемость направлений ветра  $\tau_i$  по восьми направлениям сторон света ( $i = 1, 2, \dots, 8$ ) и соответствующие классы открытости  $K_{oi}$  по Милевскому представлены в таблице 3.2

Таблица 3.2

Направление	С	С-В	В	Ю-В	Ю	Ю-З	З	С-З
Повторяемость $\tau_o$	10	7	8	8	8	30	17	12
Класс открытости $K_{oi}$	12	12	12	7	7	7	7	12

Фактический класс открытости местности о. Харлов  $K_f$  оказывается равным:

$$K_f = \sum_{i=1}^8 K_{oi} * \tau_i = 8,85 \quad (3.8)$$

Значения приведенной среднегодовой скорости ветра в десятилетний период 1966 – 1975 г.г. скорректированные с учетом  $K_f$  представлены в таблице 3.3

Таблица 3.3

Год	1866	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Среднегодовая скорость ветра м/с	9,5	9,2	10,4	10,4	9,6	8,8	8,3	8,5	8,5	9,3

За данный период времени средняя скорость ветра  $\langle V \rangle$  составила 9,2 м/с.

### 3.4.2. Расчет удельной мощности и удельной энергии ветрового потока.

Средняя удельная мощность потока ветровой энергии Вт/м<sup>2</sup> на высоте 75 м оказывается равной:

$$\langle P_1 \rangle = \sum_{i=1}^n P(V_i) * t_i = 1/2 \rho \sum (V_i * \beta)^3 * t_i = 2508,1 \text{ Вт/м}^2 \quad (3.9)$$

Здесь принято значение  $\rho = 1,226 \text{ кг/м}^3$  для плотности воздуха в нормальных условиях: давление 760 мм рт.ст., температура 15°C.

Средняя годовая удельная энергия ветра  $E_v$  равна:

$$E_v = \langle P \rangle T = 21971 \text{ кВт.ч/(м}^2 \cdot \text{год)} \quad (3.10)$$

где  $T = 8760$  часов/год

### 3.4.3. Валовой потенциал ветровой энергии

о. Харлов равен:

$$W_v = E_v (S/20) = 1,099 * S * 10^9 \text{ кВт.ч/год} \quad (3.11)$$

где  $S, \text{ км}^2$  – площадь территории острова Харлов. При этом удельный валовый потенциал  $\langle W_v \rangle$ , представляющий годовой приход ветровой энергии на единицу площади поверхности региона, равен  $W_v/S = E_v/20 = 1099 \text{ кВт.ч/(м}^2 \cdot \text{год)}$  и в действительности оказывается одним из наибольших по территории России.

### 3.4.4. Технический потенциал ветровой энергии

Поскольку роза ветров на о. Харлов довольно широко распределена по румбам, то ВЭУ целесообразно размещать в прямоугольной сетке с расстоянием между ближайшими установками  $10D$  ( $D$  – диаметр ветроколеса). При этом на площади  $S_T$ , перспективной для использования ветровой энергии, можно разместить  $S_T/(10D)^2$  установок, так что технический потенциал ветровой энергии, кВт ч/год можно представить как:

$$W_T = K N_p T S_T / (10D)^2 \quad (3.12)$$

где  $N_p, \text{ кВт}$  – расчётная мощность ВЭУ,

$T = 8760$  ч/год.

При использовании значений параметров ВЭУ с расчетной мощностью  $N_p = 1000 \text{ кВт}$  на высоте 75 м (диаметр ветроколеса  $D = 60 \text{ м}$ , скорость включения  $V_v = 5 \text{ м/с}$ , расчетная скорость  $V_p = 15 \text{ м/с}$ , скорость отключения  $V_o = 25 \text{ м/с}$ ), получаются значения (для площади  $S_T, \text{ км}^2$ , пригодной для использования ВЭУ):

$K = 0,56$

$W_T = 1,35 * 10^7 * S_T \text{ кВт.ч/год}$

При этом удельный технический потенциал, представляющий максимальную энергию, которая может быть получена с единицы площади в регионе от ветровой энергии, равен:

$$\langle W_T \rangle = W_T / S_T = 13,5 \text{ кВт.ч/(м}^2 \cdot \text{год)} \quad (3.13)$$

3.4.5. Экономический потенциал ветровой энергии региона составляет в соответствии с принятыми условиями 0,5% технического потенциала.

$$W_{\text{э}} = W_T * 0,005 = 1,35 * 0,005 = 0,00675 \text{ кВт.ч/(м}^2 \cdot \text{год)}$$

### Контрольные вопросы.

1. Постройте таблицу эффективности использования ветроэнергетических установок в промышленно развитых странах Европы и Америки.

2. Что такое ветровой кадастр страны?

3. Перечислите регионы России, где:

- целесообразны ветроэнергетические установки?

- нецелесообразны?

4. Дайте определение кинетической энергии ветрового потока.

5. Как определяется мощность ветрового потока?
6. Как определяется мощность ветроэнергетической установки?
7. Что характеризует коэффициент мощности ветроэнергетической установки?
8. Перечислите характеристики ветрового потока.
9. Охарактеризуйте ветровой энергетический ресурс региона:
  - что такое валовой потенциал?
  - что такое технический потенциал?
  - что такое экономический потенциал?

**Задачи для самостоятельного решения.**

1. На горе, около моря, скорость ветра 4 м/с круглые сутки. В долине под горой скорость и направление ветра меняются:

- с 6 часов утра и до 17 часов дня дует ветер с моря со скоростью 8 м/с
- с 19 часов вечера до 24 часов дует ветер с суши на море со скоростью 8 м/с.

Где целесообразно построить ветроэлектростанцию? Какой тип ветроустановок (с горизонтальной или вертикальной осью вращения) необходимо использовать? Где (на горе или в долине) будет достигаться более высокая мощность ветроэлектростанций?

2. Необходимо решить две задачи:

- выработку электроэнергии,
- подъем воды из скважины на поверхность.

У нас в наличии 2 ветроустановки:

- трехлопастная быстроходная,
- многолопастная тихоходная.

Для решения какой задачи целесообразно использовать каждую ветроустановку?

3. Рассчитайте ветроэнергетический ресурс Удмуртской Республики, определите:

- валовой потенциал,
- технический потенциал,
- экономический потенциал.

Определите в каких районах УР целесообразно использовать ветроэнергетические установки?

**Рекомендуемая литература для самостоятельного изучения.**

1. Ветроэнергетика. Под ред. Д. де Рензо. Перевод с английского под ред. Шефтера. М: «Энергоатомиздат» - 1982 - 270 с.
2. Безруких П.П. Использование энергии ветра. Техника, Экономика, Экология. М: «Колос» - 2008 - 196 с.
3. А. да Роза. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. М: «Интеллект» - 2010 - 702 с.



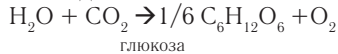
## ГЛАВА 4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

### 4.1. Общая характеристика солнечной энергии.

Объём ежегодно падающей на Землю солнечной радиации (инсоляции) составляет  $5,7 \cdot 10^{15}$  ГДж на верхней границе атмосферы. Порядка 35% приходящей солнечной энергии отражается атмосферой и поверхностью планеты. Баланс поглощенной инсоляции в общих чертах таков:

воздух	- $10,45 \cdot 10^{11}$ ТДж/год
мировой океан	- $18,39 \cdot 10^{11}$ ТДж/год
суша	- $7,9 \cdot 10^{11}$ ТДж/год

Фитомасса планеты образуется с помощью фотосинтеза  $25,1 \cdot 10^8$  ТДж солнечной энергии в химическую в течении года:



Человек использует лишь ничтожную долю, порядка  $5 \cdot 10^6$  Тдж ежегодно, этой энергии. Необходимо отметить, что 2/3 последней потребляется в виде топливной биомассы и различных материалов, прочее же составляют пищевые продукты.

Как сообщают К.И. Замараев и В.Н. Пармон, тепловым эквивалентом солнечной радиации, приходящей в продолжение года на поверхность почвы в одной лишь пустыне Калоракум, могло бы быть сжигание в тот же период времени > 36 млрд. т. нефти. Для уяснения масштаба этой оценки следует сказать, что за 1992 г. в мире было добыто 3 млрд. т. нефти.

Поскольку использование энергии Солнца не сводится только к улавливанию радиации как таковой, но включает и утилизацию её энергетических производных, постольку перспективы развития солнечной энергетики не ограничены.

Солнечное излучение на поверхности Земли зависит от многих факторов: широты и долготы местности, её географических и климатических особенностей, состояния атмосферы, высоты Солнца над горизонтом и т.д.

Поток солнечной энергии на Землю меняется, достигая максимума в  $2200$  кВт.ч./м<sup>2</sup> в год для северо-запада США, запада Южной Америки, юга и севера Африки, Саудовской Аравии и центральной части Австралии.

Россия находится в зоне, где поток солнечного излучения меняется в пределах от 800 до  $1400$  кВт.ч./м<sup>2</sup> в год. При этом продолжительность солнечного сияния в России находится в пределах от 1700 до 2000 ч/год. За год на всю территорию России поступает солнечной энергии больше, чем энергия всех Российских сырьевых ресурсов: нефти, газа, угля и урана.

### 4.2. Системы солнечного теплоснабжения.

#### КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГЕЛИОСИСТЕМЫ

Системами солнечного теплоснабжения называются системы, использующие в качестве источника тепловой энергии солнечную радиацию.

Их характерным отличием от других систем низкотемпературного отопления является применение специального элемента — гелиоприёмника, предназначенного для улавливания солнечной радиации и преобразования её в тепловую энергию.

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

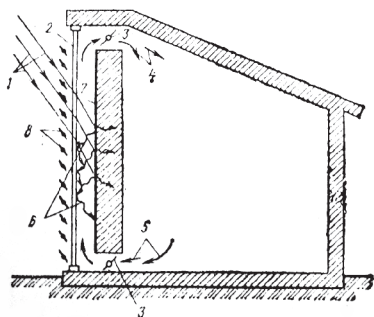
Пассивными называются системы солнечного отопления, в которых в качестве элемента, воспринимающего солнечную радиацию и преобразующего её в теплоту, служит само здание или его архитектурные элементы (здание — коллектор, стена-коллектор, кровля-коллектор (рис. 4.1))

В пассивной системе солнечного низкотемпературного отопления здания-коллектор солнечная радиация, проникая через световые проемы в помещение, попадает как бы в

тепловую ловушку. Коротковолновое солнечное излучение свободно проходит через оконное стекло и попадая на внутренние ограждения помещения, преобразуется в теплоту и способна частично или полностью компенсировать тепловые потери помещения.

Для повышения эффективности работы системы здания-коллектор световые проемы большой площади делают на южном фасаде, снабжая их жалюзи, которые при закрывании должны препятствовать в тёмное время суток потерям с противозлучением, а в жаркий период перегреву помещения. Внутренние поверхности окрашивают в темные тона.

Задачей расчета при данном способе обогрева является определение необходимой площади световых проёмов для пропускания в помещение потока солнечной радиации, необходимого с учётом аккумулирования для компенсации тепловых потерь. Как правило, мощности пассивной системы здание-коллектор в холодный период оказывается недостаточно, и в здании устанавливают дополнительный теплоисточник, превращая систему в комбинированную. Расчетом при этом определяют экономически целесообразные площади световых проёмов и мощность дополнительного теплоисточника.



**Рис 4.1.** Пассивная низкотемпературная система солнечного отопления «стена-коллектор».

- 1 – солнечные лучи;
- 2 – лучепрозрачный экран;
- 3 – «стена-коллектор»;
- 4 – собственное длинноволновое тепловое излучение массива стены;
- 5 – воздушная заслонка;
- 6 – чёрная лучевоспринимающая поверхность;
- 7 – нагретый воздух;
- 8 – охлажденный воздух помещения.

Активными называются системы солнечного низкотемпературного отопления, в котором гелиоприёмник является самостоятельным отдельным устройством, не относящимся к зданию. Активные гелиосистемы могут быть подразделены:

- по назначению (системы горячего водоснабжения, комбинированные системы);
- по виду используемого теплоносителя (жидкостные — вода, антифриз и воздушные);
- по продолжительности работы (сезонные, круглогодичные);
- по техническому решению (одно-, двух-, многоконтурные).

Для активных систем солнечного отопления применяют гелиоприёмники двух типов: концентрирующие и плоские.

Солнечная водонагревательная установка с плоским гелиоприёмником состоит из солнечного коллектора и теплообменника-аккумулятора. Через солнечный коллектор циркулирует теплоноситель (антифриз). Теплоноситель нагревается в солнечном коллекторе энергией Солнца и отдает затем тепловую энергию воде через теплообменник, смонтированный в бак-аккумулятор. В баке-аккумуляторе хранится горячая вода до момента её использования, поэтому он должен иметь хорошую теплоизоляцию. В первом контуре, где расположен солнечный коллектор, может использоваться естественная или принудительная циркуляция теплоносителя.

В бак-аккумулятор может устанавливаться электрический или какой-либо другой автоматический нагреватель — дублер. В случае понижения температуры в бак-аккумуляторе ниже установленной.

Гелиосистемы отопления зданий обычно делают двухконтурными или многоконтурными, причем для разных контуров могут быть применимы различные теплоносители (например, в гелиоконтуре — водные растворы незамерзающих жидкостей, в промежуточных контурах — вода, а в контуре потребителя — воздух).

Комбинированные гелиосистемы круглогодичного действия для целей теплоснабжения зданий многоконтурные и включают дополнительный источник теплоты в виде традиционного теплогенератора, работающего на органическом топливе.

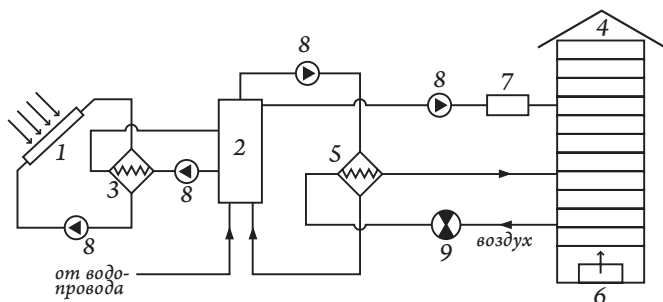
Принципиальная схема системы солнечного теплоснабжения приведена на рис. 4.2.

Она включает три контура циркуляции:

*первый контур* состоящий из солнечных коллекторов 1, циркулирующего насоса 8 и жидкостного теплообменника 3; *второй контур*, состоящий из бака-аккумулятора 2, циркуляционного насоса 8 и теплообменника 3; *третий контур*, состоящий из бака-аккумулятора 2, циркуляционного насоса 8, водовоздушного теплообменника (калорифера) 5.

Функционирует система солнечного теплоснабжения следующим образом. Теплоноситель (антифриз) теплоприёмного контура, нагревается в солнечных коллекторах 1, поступает в теплообменник 3, где теплота антифриза передается воде, циркулирующей в межтрубном пространстве теплообменника 3 под действием насоса 8 второго контура. Нагретая вода поступает в бак-аккумулятор 2. Из бака-аккумулятора вода забирается насосом горячего водоснабжения 8, доводится при необходимости до требуемой температуры в дублёре 7 и поступает в систему горячего водоснабжения здания. Подпитка бака-аккумулятора осуществляется из водопровода. Для отопления вода из бака-аккумулятора 2 подается насосом третьего контура 8 в калорифер 5, через который с помощью вентилятора 9 пропускается воздух и, нагревшись, поступает в здание 4. В случае отсутствия солнечной радиации или нехватки тепловой энергии, вырабатываемой солнечными коллекторами, в работу включается дублёр 6.

Выбор и компоновка системы солнечного теплоснабжения в каждом конкретном случае определяется климатическими факторами, назначением объекта, режимом теплоснабжения и экономическими показателями.



**Рис. 4.2.** Схема солнечной водонагревательной установки:

1 – плоский солнечный коллектор, 2 – бак-аккумулятор, 3 – теплообменник, 4 – электронагреватель – калорифер; 5 – дублёр системы отопления; 6 – дублёр системы горячего водоснабжения; 7 – дублёр системы горячего водоснабжения; 8 – циркуляционный насос; 9 – вентилятор.

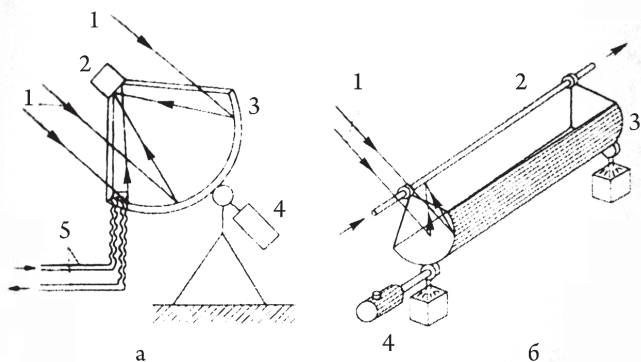
Концентрирующие гелиоприёмники представляют собой сферические или параболические зеркала (рис. 4.5) выполненные из полированного материала, в фокусе которых помещают тепловоспринимающий элемент (солнечный котел), через который циркулирует теплоноситель. В качестве теплоносителя используют воду или незамерзающие жидкости.

Для обеспечения высокой эффективности процесса улавливания и преобразования солнечной радиации концентрирующий гелиоприемник должен быть постоянно направлен строго на Солнце. С этой целью гелиоприемник снабжают системой слежения, включая датчик направления на Солнце, электронный блок преобразования сигналов, электродвигатель с редуктором для поворота конструкции гелиоприёмника в двух плоскостях.

Преимуществом систем с концентрирующими гелиоприемниками является способность выработки теплоты с высокой температурой (выше 100°C). К недостаткам следует отнести высокую стоимость конструкции, необходимость постоянной очистки отражающих поверхностей от пыли, потребность в аккумуляторах большого объема, большие энергозатраты на привод системы слежения за ходом Солнца, соизмеримые с вырабатываемой

энергией. Эти недостатки сдерживают широкое применение активных низкотемпературных систем солнечного отопления с концентрирующими гелиоприёмниками. В последнее время для солнечных низкотемпературных систем отопления всё чаще используют плоские гелиоприёмники.

**Рис. 4.5.** Концентрирующий параболоцилиндрический гелиоприёмник: 1 – солнечные лучи; 2 – тепловоспринимающий элемент; 3 – параболоцилиндрическое зеркало; 4 – механизм привода системы слежения; 5 – трубопроводы, подводящие и отводящие теплоноситель.



### 4.3. Преобразование солнечной энергии в электрическую.

#### Солнечные электростанции (СЭС).

Трансформация энергии Солнца в электрическую возможна двумя способами: термодинамическим, когда солнечная энергия передаётся теплоносителю, далее расширяющемуся в турбоагрегатах согласно типичной для ТЭС схеме и и фотоэлектрическим, в котором трансформация протекает прямо, без промежуточных этапов. Обе технологии обладают определенными достоинствами и известными объективными недостатками. Термодинамическая трансформация, в частности производится с концентрированными потоками солнечной энергии, питающих мощностей СЭС. Как следствие, термодинамические солнечные установки генерируют электрическую энергию, обходящуюся дороже, чем с применением традиционного топлива, но существенно более дешёвую, чем фотоэлектрические СЭС. Для сравнения, в 1990 г. затраты на выработку 1 кВт.ч. электроэнергии составляет 0,8 доллара США на фотоэлектрических установках и 0,08 — на термодинамических. Соответственно строительство мощных электростанций с необходимостью требует крупных земельных площадей, в т.ч. сельскохозяйственного назначения. Для условий пустынь/полупустынь это ограничение снимается. Однако в крупную проблему выливается питание термодинамических СЭС водой для производства пара. С другой стороны для термодинамических СЭС характерна значительная, порядка 50 м<sup>2</sup> на 1 кВт генерируемой мощности, площадь гелиостатов, концентрирующих солнечное излучение. В свою очередь фотоэлектрические энергоустановки отличаются существенно меньшими показателями металлоёмкости и занимаемой площади. Их положительными с технологической точки зрения качествами являются также полная безинерционность процесса преобразования энергии и независимость величины КПД от мощности установки. Рентабельность этих установок будет возрастать за счёт удешевления фотоэлектрических преобразователей.

В настоящее время в мире промышленно эксплуатируются электростанции, преобразующие солнечную энергию в электрическую обоими способами.

#### ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СЭС БАШЕННОГО ТИПА.

Идея башенной солнечной установки с центральным приёмником излучения принадлежит советскому инженеру Н.В.Линицкому (30-е годы XX века). Конструкция СЭС (рис. 4.6.) включает в себя необходимое количество зеркальных гелиостатов, отражающих поток солнечного излучения на гелиокотел, поднятый на башню. Теплоноситель в гелиокотле

воспринимает солнечную теплоту и либо сам превращается в пар, если носителем служит вода, либо отдает воспринятую тепловую энергию той же воде через теплоаккумулятор-теплообменник.

Оригинальный проект башенной СЭС предложил немецкий инженер И.Шлейх. Станция представляет собой башню диаметром 50 м и высотой 1 км, конусовидное подножие которой имеет в поперечнике 7 км и остеклено. Воздух нагреваемый солнцем

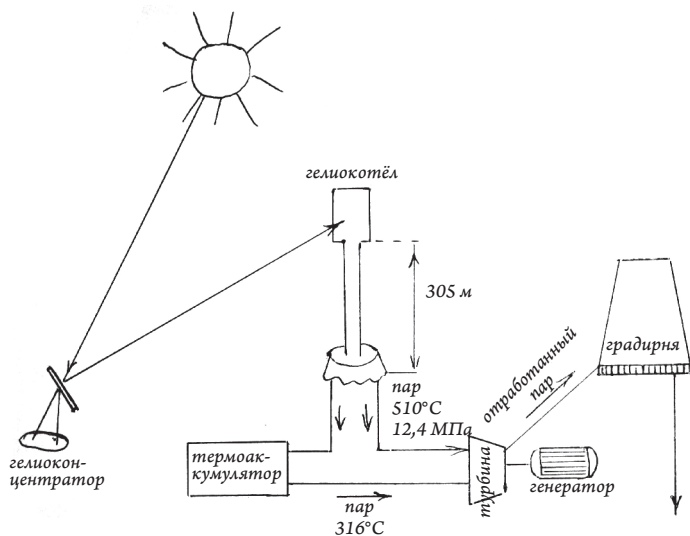


Рис. 4.6. Схема термодинамической СЭС мощностью 100МВт, спроектированной в США по Л.А.Вант-Халлу (1979 г.)

под остеклением, устремляется в башню со скоростью 15,5 м/с и приводит в движение 32 ветровые турбины. Последние располагаются у основания башни, единичная мощность турбины 6,5 МВт. Помимо воздуха поток инсоляции отдает тепловую энергию воде, циркулирующей в трубах. Теплота воды обеспечивает нагревание воздуха, движущегося через турбины по ночам и в пасмурные дни. Мощность СЭС определяется равной 200 МВт. Капитальные затраты на строительство на 1 кВт мощности установки оцениваются в 2800 долларов США. Это практически значительно дешевле, чем строительство ВЭС соизмеримой (0,1 Гвт) мощности.

Уменьшенная установка И.Шлейха, с высотой башни 200 м, прошла успешную опытную эксплуатацию в Испании (1982 - 1989 гг). К бесспорно положительным чертам проекта относятся полное отсутствие гелиостатов со сложными высокозатратными системами их ориентирования и очистки, а также отсутствие системы циркуляции теплоносителя.

## СОЛЯНОПРУДОВЫЕ СЭС

Изжить или во всяком случае многократно уменьшить многие технологические затруднения термодинамических СЭС с соответствующим снижением издержек на генерирование электроэнергии возможно путем «съема» солнечной энергии соляными прудами. Солнечный соляной пруд (ССП) в простейшем техническом варианте — неглубокий, 2...3 м, водоём, полный рассолом с неустановившимся, неоднородным распределением солёности по вертикали. Усваивая тепловую солнечную энергию, придонные слои рассола прогреваются до 100°C и выше. По мере прогревания рассол становится тяжелым в силу повышения растворимости солей (табл. 4.2.1)

Таблица 4.2.1

температура °С	0	10	20	30	50	70	90	100
Содержание в воде хлорида натрия кг/м <sup>3</sup>	35,6	35,7	35,8	36	36,7	37,5	38,5	39,1
То же, хлорид калия	28,5	32,0	34,7	37,4	42,8	48,3	53,8	56,6

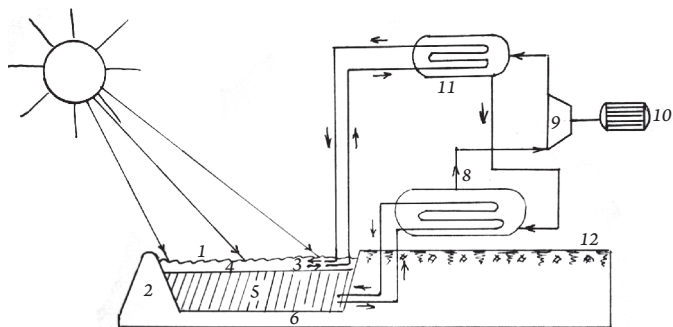


Рис. 4.7. Схема солянопрудовой СЭС:  
 1 - зеркало воды; 2 - дамба; 3 - охлажденная слабосоленая вода  
 4 - пограничный слой на границе раздела слабосоленой и  
 крепосоленой вод; 5 - горячий концентрированный рассол;  
 6 - темное дно поглощающее инсоляцию; 7 - испаритель;  
 8 - теплоноситель; 9 - турбоагрегат; 10 - электрогенератор;  
 11 - конденсатор; 12 - поверхность земли. По А.А. Саламову (1984 г.)

Поэтому рассол не перемешивается а аккумулирует тепловую энергию

Рабочий процесс солянопрудовой СЭС (рис.4.7) основывается на температурном градиенте верхних охлажденных и придонных разогретых слоев рассола. Горячий рассол закачивается в испаритель, превращая в пар теплоноситель - фреон 12, дающий пар с давлением 2,4...2,8 МПа. Пары теплоносителя поступают на расширение в турбоагрегат и затем в конденсатор,

где сжижаются при охлаждении рассолом из верхнего слоя. В США (штат Калифорния) СПП площадью 60,7 Га и глубиной 3,5 м нагревал придонные слои рассола до 85 ... 100°С. Тепловая мощность установки соответствовала 0,21 МВт. Теплоносителем для СЭС на этом пруду был фреон. Вырабатываемая энергия поставлялась в 200 односемейных домов.

Достоинства ССП весьма существенны:

- обладают большими площадями, поглощающими инсоляцию, при минимальных материале и металлоёмкости;
- совмещают функции приёмника и аккумулятора (пруд глубиной 2 м удерживает приработаное тепло неделю) поглощенной энергии;
- не нуждается в очистке поглощающей инсоляцию поверхности, попавшие в пруд загрязнения либо тонут и идут на вычерненное дно, либо плавают и легко удаляются;
- СЭС с солнечным прудом не поглощает пресную воду, поэтому могут быть возведены в пустынных/полупустынных местностях близ побережий морей (Каспийского, Аральского, Мёртвого) и вырабатывать электроэнергию в целях ирригации, опреснения воды и пр.

### СОЛНЕЧНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ.

Впервые на связь электричества и света указал Максвелл. В дальнейшем эта связь доказана профессором МГУ А.Г. Столетовым, в экспериментальной установке которого возник электрический ток, рожденный световыми лучами.

В 1954 г. Пирсон, Чемпен и Фуллер осветили лучами две различные кремниевые пластины, соединенные вместе наподобие бутерброда. Образовалась электрическая цепь, в которой в результате внутреннего фотоэффекта возник ток. С тех пор исследования и разработки в этом направлении ведутся очень интенсивно.

Прямое преобразование солнечной радиации в электроэнергию осуществляется полупроводниковыми фотоэлектрическими преобразователями (ФЭП). В настоящее время наибольшее распространение получили ФЭП на основе кремния, легированного элементами III и IV групп для получения так называемого р-п - перехода. Применяются ФЭП из монокристаллического, поликристаллического и аморфного кремния. Основой ФЭП являются солнечные элементы, имеющие форму круга диаметром до 100 мм или многогранника. Элементы собираются в модули, имеющие при стационарной инсоляции мощность до 100 Вт. Из таких модулей собираются солнечные батареи мощностью до нескольких МВт.

Преимуществом ФЭП является то, что он использует как прямое, так и рассеянное излучение, не требует слежения за Солнцем и практически не нуждается в обслуживании.

Лучшие серийно производимые модули из монокристаллического кремния имеют КПД около 18% и стоимость 3,5 – 4 долл./Вт.

По данным МЭА в 20 индустриально развитых странах суммарная установленная мощность ФЭП к концу 2003 г. составила 1,8 Гвт, причем только за 2003 г. она возросла на 0,43 Гвт.

В 2005 г. В мире было произведено ФЭП суммарной мощностью 1,727 Гвт, а в 2010 году предполагалось увеличение производства в 3,5 раза.

Несмотря на высокие темпы наращивания установленной мощности ФЭП как в развитых, так и в развивающихся странах, за счет высокой стоимости материалов и технологии изготовления, стоимость электроэнергии от ФЭП все еще высокая – в благоприятных условиях около 0,2 цента/кВт.ч.

Поэтому в настоящее время все усилия ученых направлены на снижение стоимости материалов и технологии производства ФЭП.

Нет сомнений в том, что при приемлемой стоимости электроэнергии от ФЭП они займут достойное место в использовании солнечной энергии в народном хозяйстве России.

### СЕЛЕКТИВНОЕ СПЕКТРАЛЬНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ СВЕТОВОГО ЛУЧА.

Для того чтобы максимально эффективно использовать весь довольно широкий спектральный диапазон солнечного излучения, он может быть разделен на спектральные «слои», по частоте наилучшим образом соответствующие характеристикам полупроводниковых фотодиодов.

Так, для кремния, ширина запрещенной зоны которого равна 1,1 эВ, фотоэффект может быть с наибольшей эффективностью реализован лишь в достаточно узком диапазоне частот, начиная с 265 Тгц (инфракрасная область).

Излучение в другом спектральном диапазоне должно быть ориентировано на другие фотодиоды или на преобразование в тепло.

### КАСКАДНЫЕ ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

Концептуально простейшая система со спектральным разделением светового потока реализуется в схеме с использованием двух фотодиодов с различной шириной запрещенной зоны, накладываемые один на другой. Пусть диод №1 с шириной запрещенной зоны  $E_{g1}$  размещен сверху (т.е. на него падает всё излучение). Тогда он будет поглощать фотоны с энергией выше  $E_{g1}$  и окажется прозрачным для фотонов, энергия которых ниже этого порога. Если под диодом №1 будет находиться диод №2 с шириной запрещенной зоны  $E_{g2}$ , которая меньше, чем у диода №1, то он будет поглощать ту часть фотонов, которая прошла через диод №1. такой фотоэлектрический элемент называется каскадным и может иметь большую эффективность чем однослойные устройства на основе любого из входящих в каскад фотоэлементов.

### ТЕРМОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

На схеме представлен фотоэлектрический преобразователь, в котором излучатель нагревается концентрированным солнечным излучением (или пламенем) и освещает фотодиод с шириной запрещенной зоны  $E_g$ .

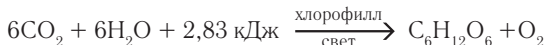
Фотоны с энергией превышающей ей  $E_g$  преобразуются полупроводником с генерацией электрического тока. Фотоны с энергией меньше  $E_g$  проходят через проводник не поглощаясь и отразившись от зеркала, возвращаются обратно и излучаются.

Роль данного зеркала может играть тыльный электрод фотодиода, выполненный в виде слоя серебра, отделенного от диода тонким слоем оксида. электрическое соединение зеркала с диодами осуществляется посредством точечных контактов, которые занимают площадь всего 1% всей поверхности зеркала. Тепловой излучатель может быть графитовым, что обеспечивает возможность его работы в температурном диапазоне 2200 – 2300°С. Полупроводниковым материалом в данной конструкции является кремний.

#### 4.4. Солнечно-водородная энергетика (Топливо из света, воды и воздуха)

##### 4.4.1 Фотокаталитические процессы

В природе фотокаталитический процесс синтеза глюкозы и кислорода из  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$  при непрерывном потоке солнечной энергии (фотосинтез), является основой жизни на Земле:



Прекращение фотосинтеза привело бы к полному исчезновению кислорода в течение 2000 лет в атмосфере Планеты.

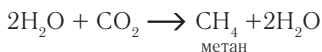
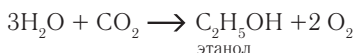
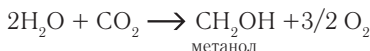
В отсутствие хлорофилла, зеленого пигмента растений, имитирующие природный фотосинтез процессы обеспечиваются двумя типами катализаторов:

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

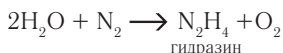
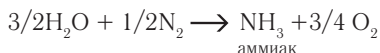
Солнечная энергия при этом поглощается как в форме видимого света, так и ультрафиолетового излучения.

Другая фотокаталитическая система — полупроводниковая. Катализатором здесь служат массивные или высокодисперсные полупроводники: оксиды, фосфиды, арсениды и халькогениды переходных материалов (свинца, олова, галлия и др.).

Протекающие при комнатной температуре (20°C) и атмосферном давлении фотокаталитические реакции позволяют получать углеводородные

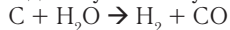


и альтернативные (не содержащие углерода)



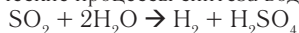
энергоносители, ряд которых (спирты, гидрозин, сжиженный водород) станут моторными топливами.

Химизм фотокаталитических процессов позволяет связать в единую систему солнечную и углеводородную энергетiku. В частности, большое значение имеет фотокаталитическая газификация водной суспензии угля, битума, горючего сланца:

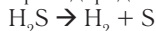


Реакция протекает на платинированном оксиде титана

Фотокаталитические процессы синтеза водорода и серной кислоты



и разложения сероводорода



обуславливают возможность переработки сбросных сернистых газов промышленности (химической, металлургической и т.д.) и сероводородных газов газовых и нефтяных месторождений на альтернативный энергоноситель - водород. Это будет единственная в своем роде экологически безопасная и безотходная (сера и серная кислота ценнейшее сырье для химического производства) переработка.



Основываясь на солнечной энергии, неисчерпаемых запасах воды и атмосферных газах, промышленное освоение фотокатализа заложит фундамент в полном смысле альтернативного бензину топлива — водорода.

С позиций охраны окружающей среды чрезвычайно важно, что побочные продукты фотокаталитического преобразования солнечной энергии либо возвращаются в производственный процесс (вода), либо экологически безопасны (кислород), либо сами являются энергоносителями.

#### **4.4.2. Методы производства водорода**

##### **МЕТОД ТЕРМОЛИЗА ВОДЫ**

В этом методе водяной пар нагревается до 1400°C после чего молекулы воды начинают распадаться, образуя газообразные водород и кислород.

Чем выше температура, тем выше скорость распада молекул в паре. Для получения большого количества водорода нагрев необходимо проводить при температуре 2500 — 3000°C, что овозможно при использовании параболических зеркал, фокусирующих солнечную энергию на контейнеры с водой.

##### **ТЕРМОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД**

Пар с температурой 300 — 1000°C пропускают через железный порошок, что приводит к окислению железа кислородом и высвобождению связанного водорода. В настоящее время ведутся исследования по применению различных материалов, которые сделают этот метод более дешевым.

##### **ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД**

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

##### **ФОТОЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД**

В этом методе Солнце используют для прямого разложения воды на водород и кислород, не прибегая к помощи высоких температур или электричества. Молекулы воды поглощают солнечные фотоны. захватив большое число фотонов молекула воды сама распадается на водород и кислород. это явление называется фотолизом. для инициирования разложения воды в неё добавляют различные неорганические вещества, которые будут поглощать больше фотонов, чем это сделает сама вода. Фотолитический метод получения водорода менее производителен, но дешевле, чем остальные методы.

Исходя из всего вышеизложенного следует сказать, что широкое использование солнечной энергии одно из перспективнейших направлений нетрадиционной энергетики России.

#### **Контрольные вопросы.**

1. В каком соотношении находится солнечная энергия, поступающая на Землю в течение года, со всеми ископаемыми углеводородными запасами в недрах планеты?
2. На какие классы делятся гелиосистемы?
3. Какие существуют системы солнечного теплоснабжения?
4. Что такое плоский солнечный коллектор?
5. Нарисуйте схему солнечной водонагревательной установки с плоским солнечным коллектором.
6. Нарисуйте схему концентрирующего параболоцилиндрического гелиоприемника.
7. Что называют солнечным котлом?
8. Нарисуйте схему термодинамической СЭС башенного типа.
9. Нарисуйте схему соляно-прудовой СЭС.

10. Сформулируйте принцип фотоэлектрического преобразования энергии солнца.
11. Охарактеризуйте принцип спектрального разделения светового луча.
12. В чем суть каскадных фотоэлементов?
13. Изложите принцип работы термофотоэлектрических преобразователей.

**Задачи для самостоятельного решения.**

1. В какое время дня солнце находится строго на востоке в Москве 15 мая и 15 ноября?
2. Какова инсоляция ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) на поверхность, обращенную строго на восток с углом наклона к горизонту  $25^\circ$  в месте с широтой  $45^\circ\text{с.ш.}$  в 10 ч. 00 мин. 15 мая?
3. Фотоэлектрическая батарея имеет КПД = 16,7%. Она расположена в месте, находящемся на широте  $45^\circ\text{с.ш.}$  Наблюдения проводятся 1 апреля 2005 года в 10 ч. 00 мин. Если батарею ориентировать строго на Солнце её мощность будет равна 870 Вт. Какую мощность будет вырабатывать та же батарея если её установить строго на восток с углом наклона к горизонту  $25^\circ$ ?
4. Какова теоретическая эффективность каскадного фотопреобразователя изготовленного из полупроводников с шириной запрещенной зоны 1 эВ и 2 эВ?
5. Фотодиод изготовлен из полупроводника с шириной запрещенной зоны 2,35 эВ. Он работает при температуре  $80^\circ\text{C}$  и облучается монохроматическим светом длиной волны 400 нм. Каков его максимальный КПД?
6. Каков ток короткого замыкания фоточейки размером 10x10 см (100%-ный квантовый выход, внутреннее сопротивление отсутствует), облучаемой монохроматическим излучением на длине волны 400 нм мощностью  $1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ?
7. Оцените теоретическую эффективность фотоэлемента с шириной запрещенной зоны 2,5 эВ под потоком солнечного излучения  $100 \text{ Вт}/\text{м}^2$  при условии, что излучение проходит через фильтр, пропускающий излучение только в диапазоне между 600 и 1000 нм.

**Рекомендуемая литература для самостоятельного изучения.**

1. Расчёт ресурсов солнечной энергетики: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И. Виссарионова. М: Издательство МЭИ, 1997.
2. Н.В. Харченко. Индивидуальные солнечные установки. М: Энергоатомиздат. 1991 208 с.
3. С.О. Денк. Возобновляемые источники энергии. На берегу энергетического океана. Издательство Пермского государственного технического университета. 2008 - 286 с.
4. А. да Роза. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. Издательский дом МЭИ. Издательский дом «Интеллект». 2010 - 702 с.
5. Мак-Вейн Д. Применение солнечной энергии. М: Энергия. 1982.

## ГЛАВА 5.

### Использование энергии малых рек.

Под малой гидроэнергетикой понимают производство электроэнергии при помощи гидротурбин разной мощности, устанавливаемых на малых реках и постоянных водотоках. Создание гидроэлектростанций (ГЭС) возможно с возведением плотины, в которой устанавливаются гидротурбины или возможно создание бесплотинных ГЭС.

Под микро-ГЭС подразумевают станции мощностью до 100 квт, под малыми ГЭС (МГЭС) – общей установочной мощности до 30 Мвт с мощностью единичного гидроагрегата до 10 Мвт и диаметром рабочего колеса гидротурбин до 3 метров.

МГЭС могут работать на зарегулированном стоке или без подпора на естественном стоке, а также на ирригационных каналах.

#### 5.1. Гидроэнергетический потенциал России и его использование

Гидроэнергетический потенциал, подобно другим природным ресурсам, оценивается по нескольким категориям для отражения природно-физических, технических и социально-экономических аспектов. Определено три категории оценки:

- валовой гидроэнергетический потенциал, т.е. полный запас энергии, которые несут реки;
- технический гидроэнергетический потенциал – часть валового, освоение которого в принципе осуществляется с помощью известных технических средств;
- экономический гидроэнергетический потенциал – часть технического, освоение которого представляется экономически эффективным, целесообразным.

Валовой потенциал (теоретические или потенциальные гидроэнергетические ресурсы) определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = 8760 \sum_{i=1}^n 9,81 Q_i H_i \quad (5.1)$$

где  $\mathcal{E}$  – энергия в кВт.ч;  $Q_i$  – средний годовой расход рек на  $i$ -м рассматриваемом участке, м<sup>3</sup>/с;  $H_i$  – падение уровня реки на этом участке в м;  $n$  – число участков; 8760 – число часов в году.

Валовой потенциал подсчитывается в предположении, что весь сток будет использован для выработки электроэнергии без потерь при преобразовании гидравлической энергии в электрическую.

Мировые потенциальные гидроэнергетические ресурсы оцениваются в 35000 млрд квт.ч/год, потенциальные ресурсы России составляют 2896 млрд квт.ч

Технические гидроэнергетические ресурсы всегда меньше теоретических, так как они учитывают потери:

- гидравлических напоров в водоводах, бьефах, на неиспользованных участках водотоков;
- расходов воды на испарение из водохранилищ, фильтрацию, холостые сбросы и т.п.;
- энергии в различном гидроэнергетическом оборудовании

Технический потенциал характеризует возможность получения энергии на современном этапе.

Технические гидроэнергетические ресурсы России составляют 1670 млрд квт.ч в год, в том числе по МГЭС – 382 млрд квт.ч в год, т.е. 23% от общего ресурса.

Выработка электроэнергии на действующих ГЭС России в 2002 году составила 170,4 млрд квт.ч, в том числе на МГЭС – 2,2 млрд, т.е. 1% от общей выработки. Таким образом Россия не использует гидроэнергетический ресурс малых рек страны.

Экономические гидроэнергетические ресурсы существенно зависят от прогресса в энергетике, удаленности ГЭС от места подключения к энергосистеме, обеспеченности рассматриваемого региона другими энергетическими ресурсами, их стоимостью, качеством и т.п.

В связи с ростом затрат на добычу органического топлива и соответствующим увели-

чением его стоимости, представляется необходимым обеспечить максимально возможное развитие гидроэнергетики. Предполагается, что гидроэнергетика будет развиваться в Сибири и на дальнем Востоке. В европейских районах строительство МГЭС получит развитие на Северном Кавказе.

На 1940-1950 г.г. пришелся пик строительства МГЭС, когда в эксплуатацию вводились до 1000 станций в год. Так в 1955 г. на территории Европейской части России насчитывалось около 5000 МГЭС. А общее количество МГЭС в СССР после окончания Великой отечественной войны составляло 6500 единиц.

В середине 50-х г.г. в связи с переходом на строительство крупных энерготехнических объектов и присоединением сельских потребителей к централизованному электроснабжению, направление МГЭС утратило государственную поддержку, что привело к полному разрушению и упадку созданной прежде гидроэнергетической инфраструктуры. Прекратилось проектирование, строительство, изготовление оборудования и запасных частей для малой гидроэнергетики.

К моменту распада СССР в 1990 г. действовавших МГЭС осталось всего 55. В настоящее время по всей России действует более 70 МГЭС.

По мнению экспертов, в ближайшем будущем выработка электроэнергии на малых гидростанциях будет увеличиваться. Это будет происходить в регионах с децентрализованным электроснабжением за счет ввода в действие новых МГЭС, которые будут замещать устаревающие и неэкономичные ТЭЦ и ДЭС.

Основное назначение МГЭС в ближайшие годы будет заключаться в замещении невозможного в удаленные регионы России органического топлива с целью снижения расходов федерального бюджета и повышение эффективности и энергетической безопасности энергодефицитных регионов.

Так в Дльневосточном регионе действуют более 3000 дизельных электростанций. Электроснабжение региона полностью зависит от стабильности поставок дизельного топлива. Из-за высокой стоимости дизельного топлива и его доставки возникла необходимость в его замещении другими энергоресурсами. Электроснабжение региона необходимо оптимизировать за счет строительства МГЭС.

Чрезвычайно важным направлением развития МГЭС в России является восстановление заброшенных, но не разрушенных ГЭС на малых реках страны. Их в настоящее время около 4000. Необходима общероссийская программа их восстановления.

В последнее время в России разработаны схемы использования гидроресурсов и определены первоочередные объекты возможного строительства с учетом нужд потребителей. На Камчатском полуострове планируется строительство 20 МГЭС. В первую очередь намечено ввести в эксплуатацию шесть ГЭС общей установленной мощностью 50,2 Мвт. Эти электростанции будут возводиться на реках, где не развито промышленное рыбководство, или же они будут строиться без плотины. Во вторую очередь будут введены в строй ещё 11 ГЭС общей мощностью 132,8 Мвт. До 2015 г. завершится строительство еще трех ГЭС, суммарная мощность которых составит 300 Мвт.

Северный Кавказ также относится к энергодефицитным регионам. В последние годы построены МГЭС в Адыгее (250 кВт), Кабардино -Балкарии (1100 кВт), Краснодарском крае (2450 кВт).

По программе строительства малых ГЭС в Дагестане отобрано 20 наиболее перспективных проектов в бассейне р. Сулак, с суммарной мощностью 46200 кВт и 12 наиболее перспективных МГЭС в Южном Дагестане с общей мощностью 11700 кВт. Уже пущены в эксплуатацию следующие МГЭС: Ахтинская (1800 кВт), Агульская (600 кВт), Аракульская (1200 кВт), Амсарская (1000 кВт), Курушская (480 кВт), Бавтугайская (600 кВт), Гунибская (1500 кВт), Магинская (1200 кВт), Шиназская (1400 кВт).

Программа ОАО «ГидроОГК» по строительству и восстановлению МГЭС предусматривает ввод 300 МВт мощностей на малых гидростанциях к 2010 г. и 3000 МВт мощно-

стей к 2010 году (преимущественно на Северном Кавказе).

В Алтайском крае запланировано сооружение каскада из пяти мини-ГЭС на реке Ануй в Солонешском районе. Мощность первой гидроэлектростанции составит 1,5 МВт. Суммарная мощность каскада составит 10 Мвт.

Сооружение этого каскада позволит уменьшить энергетическую зависимость Алтайского края.

Рус Гидро и Aestom приняли решение о совместном строительстве завода по производству оборудования для малых ГЭС. Предприятие будет построено в Башкортостане и ориентировано на производство оборудования для МГЭС.

## 5.2. Основные принципы создания МГЭС

Для создания напора на МГЭС могут быть использованы следующие схемы:

- плотинная, при которой напор создается плотиной;
- деривационная, когда напор создается с помощью деривации (отведения, отклонения), выполняемой в виде канала, туннеля или трубопровода;
- комбинированная, когда напор создается плотиной и деривацией.

Плотинная схема предусматривает создание подпора уровня водотока путем сооружения плотины. Образующееся при этом водохранилище может быть использовано в качестве регулирующей емкости, позволяющей периодически накапливать запасы воды и более полно использовать энергию водотока.

В деривационной схеме отвод воды из естественного русла осуществляется по искусственному водоводу, имеющему меньший продольный уклон. Уровень воды в конце такого водовода оказывается выше уровня воды в реке и эта разность уровней является напором МГЭС. Чем больше уклон реки и длиннее деривация, тем больший напор может быть получен.

В практике встречаются смешанные схемы МГЭС:

- плотино-деривационные, в которых напор создается как плотиной так и деривацией и смешанные деривационные, в которых имеются и напорные и безнапорные водоводы.

Деривационные МГЭС сооружают на горных реках и предгорных участках, где имеются значительные уклоны. С помощью деривации могут быть получены напоры до 1000 метров и более.

Основным энергетическим оборудованием МГЭС является гидротурбина и генераторы. Гидравлическая турбина преобразует энергию движения водного потока в механическую энергию вращения её рабочего колеса. В зависимости от принципа преобразования энергии гидротурбины разделяются на активные и пассивные.

Активные турбины используют кинетическую энергию потока (скоростной напор).

Реактивные турбины используют потенциальную энергию воды (энергию давления созданную плотиной).

На ГЭС турбина и генератор связаны общим валом. Частота их вращения зависит от числа пар полюсов ротора генератора и частоты переменного тока, которая должна соответствовать стандартной. Чтобы получить скорости агрегатов, близкие к оптимальным, при больших напорах используют турбины с малыми значениями коэффициента быстроходности, а при малых напорах — с большими значениями этого коэффициента.

Микро-ГЭС (мощностью до 100 кВт) можно установить практически в любом месте. Микро-ГЭС отличаются простотой. Они надежны, компактны, быстро окупаемы. В первую очередь микро-ГЭС востребованы на 51% территории России не охваченной единой энергетической системой страны. А строить ЛЭП сейчас и дольше и в десятки раз дороже, чем приобрести и установить микро-ГЭС.

Микро-ГЭС может быть установлена на любом водотоке: на маленьких речках, на больших ручьях, на гидроузлах водоснабжения и ирригации.

### 5.3. Энергия и мощность МГЭС

Мощность (кВт) на валу гидротурбины определяется как

$$N_T = 9,81 Q_T H \eta_T$$

где  $Q_T$  – расход воды через гидротурбину  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$H$  – напор турбины с учетом потерь, м;

$\eta_T$  – коэффициент полезного действия (КПД) турбины ( $\eta_T = 0,93 \dots 0,96$ )

Электрическая мощность генератора:

$$N_{\text{ген}} = N_T \eta_{\text{ген}}$$

где  $\eta_{\text{ген}}$  – КПД гидрогенератора, обычно равный 0,97

Регулирование мощности агрегата производится измерением расхода воды, проходящей через турбину. Мощность ГЭС в  $i$ -й момент времени равна:

$$N_{Gi} = 9,81 Q_{Gi} H_{Gi} \eta_{Gi}$$

где  $Q_{Gi}$ ,  $H_{Gi}$ ,  $\eta_{Gi}$  – расход, напор и КПД ГЭС в  $i$ -й момент времени.

Выработка электроэнергии ГЭС (кВт.ч) за период времени  $T$  (ч) определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{гэс}} = \int_0^T N_{Gi} dt$$

Годовая выработка электроэнергии ГЭС не является постоянной величиной, а изменяется в зависимости от объема стока, поступившего в водохранилище, степени его регулирования и условий эксплуатации ГЭС.

Электрическая мощность, подводенная к потребителю, меньше мощности, производимой ГЭС. Сумма всех потерь при передаче электроэнергии от ГЭС к потребителю оценивается при помощи КПД системы электропередачи  $\eta_{\text{пер}} = 0,92 \dots 0,93$

Установленная мощность ГЭС  $N_{\text{уст}}$  определяется как сумма номинальных (паспортных) мощностей установленных на ней генераторов. Она соответствует максимальной мощности, которую может развивать ГЭС.

### 5.4. Гидроаккумулирующие электростанции

Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) предназначена для перераспределения во времени энергии и мощности в энергосистеме. В часы пониженных нагрузок ГАЭС работает как насосная станция. За счет потребляемой энергии она перекачивает воду из нижнего бьефа в верхний и создает запас гидроэнергии (рис. 5.1)

В часы максимальной нагрузки ГАЭС работает как ГЭС. Вода из верхнего бьефа пропускается через турбины в нижний бьеф и ГАЭС вырабатывает и выдает электроэнергию в энергосистему. В процессе работы ГАЭС за счет разности тарифов потребляет дешевую электроэнергию, а выдает более дорогую в период пика нагрузки (ночью себестоимость электроэнергии ниже из-за небольшого спроса, а днем электроэнергии не хватает). Заполняющие провалы нагрузки в энергосистеме, ГАЭС позволяет эксплуатировать тепловые и атомные электростанции в наиболее экономичном и безопасном режиме, резко снижая при этом удельный расход топлива на производство 1кВт.ч электроэнергии в энергосистеме.

Таким образом, ГАЭС не вырабатывает энергию, а лишь перераспределяет её во времени перекачкой воды из нижнего бассейна в верхний в ночное время и использования запасенной энергии в периоды максимальной нагрузки путем пропуска воды из верхнего бассейна в нижний через турбины ГАЭС.

Достоинством ГАЭС является малый объем требуемых удельных капиталовложений и малой численности обслуживающего персонала. Они не требуют крупных рек, не оказывают влияния на окружающую среду, хорошо работают и широко используются в режиме синхронного компенсатора, вырабатывая реактивную мощность.

На ГАЭС используются преимущественно обратимые гидромашины, работающие как в насосном, так и в турбинном режиме, и реверсивные электромашины, работающие в

режиме электрогенератора и электродвигателя. Обратимые гидромашины создаются для напоров до 1000 м.

Эффективность ГАЭС в значительной степени зависит от величины используемого напора: чем он выше, тем эффективнее ГАЭС, что связано прежде всего с уменьшением ёмкости бассейнов. Так удельные капиталовложения в ГАЭС при увеличении напора со 100 до 500 м снижаются на 20 – 25%.

В промышленно развитых странах интенсивный ввод новых гидроэнергетических мощностей обеспечивается, как правило, строительством ГАЭС.

Загорская ГАЭС – 1 является первой и пока единственной ГАЭС в России. ГАЭС – создана в 100 км севернее Москвы на р. Кунья, подпитывающей нижний бассейн ГАЭС. При её строительстве был использован природный перепад высот между верхним и нижним бассейнами, достигающий 100 м. С пуском последнего агрегата в 2000 г. ГАЭС-1 вышла на проектную мощность 1200 Мвт. Для решения энергообеспечения Центрального региона России необходимо еще четыре аналогичных станции.

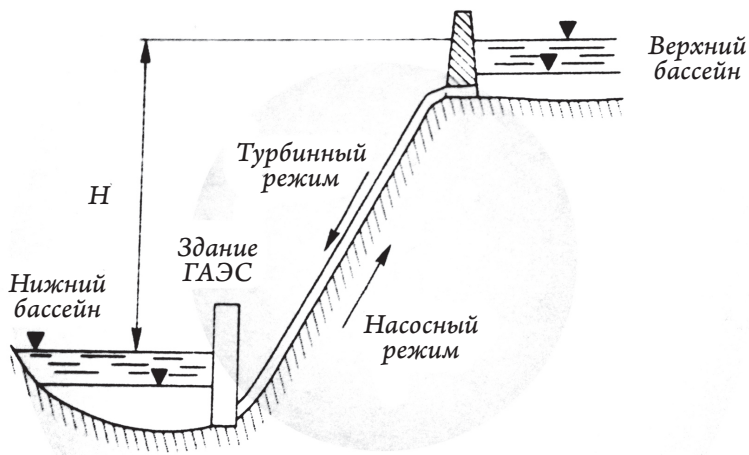


Рис. 5.1. Принципиальная схема ГАЭС

В отличие от ГЭС, ГАЭС использует для выработки электроэнергии воду в замкнутом цикле, не нанося ущерба окружающей среде. Для восполнения потерь воды на испарение и просачивание в грунт осуществляется подпитка воды, циркулирующей между обоими бассейнами. Подпитка осуществляется из открытого источника реки и её расход намного ниже циркуляционного расхода.

Сегодня малые ГАЭС (микро-ГЭС) получили распространение во многих странах мира.

Они характеризуются большой часовой наработкой, значительными конструктивными запасами и высокой надежностью, не требуют постоянного присутствия обслуживающего персонала. Экологических последствий при их строительстве нет. МГЭС вырабатывают дешевую энергию и срок их окупаемости не превышает трех лет.

### 5.5. Осмотические ГЭС

Известно, что все экологические проблемы больших ГЭС формируют их водохранилища. Избежать затопления больших площадей при сооружении плотин ГЭС возможно при помощи использования осмотического эффекта. Суть последнего заключается в массопереносе растворителя через полупроводниковую мембрану, из разбавленного раствора в раствор с большей концентрацией растворенного вещества. Для того чтобы проявить эффект, следует создать с той стороны мембраны, где находится концентрированный рас-

твор, известное давление называемое осмотическим.

Если принять за растворитель (чрезвычайно разбавленный раствор) пресную воду, за концентрированный раствор — морскую воду, за растворенное вещество — морскую соль, то величина осмотического давления будет равна 2,3 МПа. Это давление создает столб морской воды высотой 238 м.

Мощность рек, впадающих в океан оценивается в 2,6 ТВт. Только шесть крупнейших рек США сбрасывают в океан мощность равную примерно 70 Гвт.

«Съем» этой энергии принципиально возможен при наличии полупроницаемых мембран необходимой пропускной способности.

Возведение осмотической ГЭС (Рис. 5.2) сводится к отсечению участка побережья от моря плотиной высотой >238 м. Река при этом перекрывается другой, менее высокой плотиной. Пространство между двумя плотинами будет служить нижним бьефом, падающий в который вода приводит в движение турбины. Система мембран призвана обеспечить диффузию речной воды из нижнего бьефа на необходимой высоте. Крупнейшим достоинством осмотической ГЭС является расположение на бесплодном осушенном участке морского дна близ устья реки.

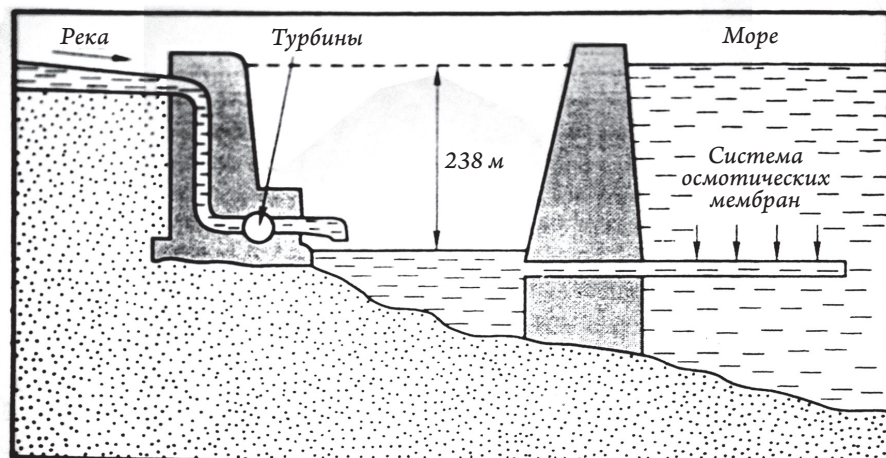


Рис. 5.2 Принципиальная схема осмотической ГЭС по У.Слейбо и Т.Персонсу (1979 г.)

### Контрольные вопросы.

1. Охарактеризуйте гидроэнергетический потенциал России.
2. Дайте определение:
  - валового гидроэнергетического потенциала,
  - технического гидроэнергетического потенциала,
  - экономического гидроэнергетического потенциала.
3. Нужно ли строить малые гидроэлектростанции при наличии крупных каскадов ГЭС на больших реках России?
4. ГЭС с какими параметрами относят к малым (мощность, диаметр гидротурбины)?
5. Перечислите схемы создания напорных гидроэлектростанций.
6. Как определяется мощность гидротурбины МГЭС?
7. Как определяется мощность генератора МГЭС?
8. Сформулируйте принцип создания гидроаккумулирующей электростанции, нарисуйте схему ГАЭС.
9. Нужно ли восстанавливать заброшенные и полуразрушенные электростанции на

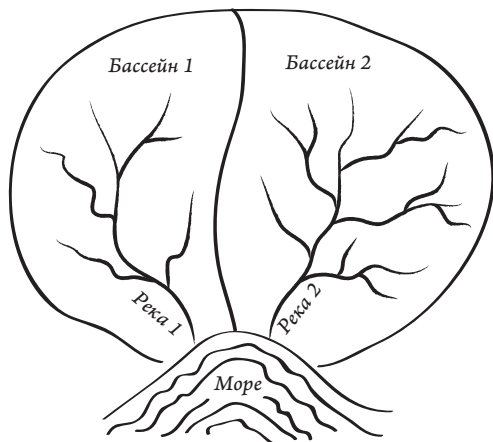


малых реках России?

10. Сформулируйте принцип создания осмотической ГЭС, нарисуйте схему.

**Задача для самостоятельного решения**

Дан водораздел и бассейны рек: Река-1, Река-2. Река-2, как более полноводная выбрана для строительства на ней гидроэлектростанции для решения проблемы энергообеспечения региона в бассейне обеих рек (рис. 5.3).



5.3. Водораздел и бассейны рек: Река 1 и Река 2

На научно-техническом совете по строительству ГЭС были высказаны 2 диаметрально-противоположные стратегии строительства.

1. Строительство большой ГЭС на Реке 2, чуть ниже впадения в нее последнего притока.

2. Строительство трёх малых ГЭС на трёх нижних притоках Реки 2 и двух МГЭС на двух нижних притоках Реки 1.

По установленной мощности оба варианта равнозначны. Научно-технический совет выбрал второй вариант строительства.

Перечислите все причины и рассчитайте параметры по которым научно-технический совет мог принять такое решение.

**Рекомендуемая литература для самостоятельного изучения.**

1. Основы современной энергетики. Часть 2. Современная электроэнергетика. под ред. профессоров А.П. Бурмана и В.А. Строева. М: Издательство МЭИ. 2003 - 451 с.

2. Использование водной энергии. Учебник для вузов. / Под ред. Ю.С. Васильева - 4-е издание переработанное и дополненное. М: Энергоатомиздат. 1995

3. Непорожний П.С., Обрезков В.И. Введение в специальность. Гидроэлектроэнергетика. Учебное пособие для вузов. - 2-е издание перераб. и доп. М: Энергоатомиздат. 1990.

4. Водно-энергетические и водохозяйственные расчёты. Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И. Виссарионова. М: Издательство МЭИ. 2001.

## ГЛАВА 6. Использование геотермальной энергии

### 6.1. Источники тепла в недрах Земли и закономерности его передачи

Земля обладает тепловой энергией внешнего (экзогенного) и внутреннего (эндогенно-го) происхождения. Основным источником внутренней тепловой энергии является:

- самопроизвольный распад радиоактивных элементов с периодом полураспада меньшим периода формирования Земли, которые распались при первоначальном разогреве планетного вещества; распад долгоживущих элементов продолжается и в настоящее время;
- воздействие притяжения Солнца и Луны, приводящие к земным приливам и торможению Земли — за счет этого фактора за время существования Земли выделилось 30% теплоты радиогенного происхождения;
- гравитационная дифференциация вещества Земли и его разложение с образованием плотного ядра и менее плотной оболочки;
- тектонические процессы, вызывающие вертикальные и горизонтальные смещения крупных блоков земной коры и её упругие деформации;
- физико-химические процессы, протекающие в недрах Земли;
- магнито-энергетическое воздействие Земли с энергетическими космическими потоками, ежесекундно пронизывающими планету.

Формирование тепла Земли тесным образом связано с историей происхождения планеты. Согласно гипотезе Шмидта и др. (1950 г.) образование планеты произошло в результате сгущения протопланетного вещества — тонкой материи, вращающегося вокруг Солнца. Эта материальная субстанция, находящаяся в холодном состоянии, под влиянием вихревого самовращения, при движении вокруг Солнца, стало уплотняться и разогреваться, что вызвало впоследствии дифференциацию вещества и образование оболочек Земли, с различной плотностью и температурой.

Помимо тепла, поступающей из недр, земная поверхность получает лучистую энергию Солнца в течение всего года. Температура самых верхних слоёв земной коры зависит от поступления солнечного тепла. Суточные изменения температуры распространяются на глубину не более 1-2 м. До глубины 20-25 м земная кора испытывает сезонные температурные колебания. На этой глубине расположен пояс постоянной годовой температуры (нейтральный слой), равной средней годовой температуре воздуха на поверхности Земли. Верхняя часть земной коры, располагающаяся выше нейтрального слоя называется гелиотермической зоной.

Нейтральный слой в разных районах поверхности располагается на разных глубинах. Для Москвы температура нейтрального слоя + 4,2°С и зафиксирована на глубине 20 м.

Ниже нейтрального слоя расположена геотермическая зона, для которой свойственно тепло, генерируемое самой Землей.

Под геотермальной энергией понимают физическое тепло глубинных слоев Земли, имеющих температуру, превышающую температуру воздуха на поверхности. В качестве носителей этой энергии могут выступать как жидкие флюиды (вода или пароводяная смесь), так и сухие горные породы, расположенные на соответствующей глубине.

Средняя по земной поверхности величина теплового потока, поступающего из недр к поверхности составляет 0,03 Вт./м<sup>2</sup>.

К тепловым свойствам горных пород, влияющих на геотермальную обстановку относятся теплопроводность, тепловое сопротивление, теплоёмкость и температуропроводимость.

**Теплопроводность** (точнее коэффициент теплопроводности) Вт/м.к представляет собой коэффициент пропорциональности закона Фурье, связывающего плотность теплового потока  $q$ , Вт/м<sup>2</sup>, с градиентом температур  $grad T$ , к/м

$$g = -\lambda \text{ grad } T \quad (6.1)$$

Пористость и влажность влияют на теплопроводность горной породы. Сухие и пористые породы обладают меньшим коэффициентом теплопроводности, чем монолитные и влажные.

Наличие в порах движущейся жидкости изменяет механизм теплопереноса, добавляя к кондуктивному конвективный теплоперенос.

**Тепловое сопротивление**  $\varepsilon$ , мК/Вт – величина обратная теплопроводности

$$\varepsilon = \frac{1}{\lambda} \quad (6.2)$$

**Удельная теплоёмкость** вещества  $C$ , кДж/кг.к, определяется формулой

$$T = \frac{dQ}{mdT} \quad (6.3)$$

где  $dQ$  - количество тепла, подведенное к массе вещества  $m$ , кг. для нагрева её на  $dT$ , К

**Коэффициент температуропроводности**  $a$ , м<sup>2</sup>/с, характеризует собой скорость изменения единицы объема среды в нестационарных процессах и определяется формулой

$$a = \frac{\lambda}{C\rho} \quad (6.4)$$

где  $\rho$  - плотность породы в кг/м<sup>3</sup>

**Температуропроводность** горных пород зависит от следующих факторов:

- плотность горных пород – температуропроводность увеличивается с возрастанием плотности;
- влажность горных пород – температуропроводность повышается с увеличением влажности;
- виды жидкости, содержащейся в породе (нефтеносные породы имеют более низкие значения температуропроводности, чем водоносные, так как тепловое сопротивление нефти выше сопротивления воды);
- температуры породы – температуропроводность уменьшается с повышением температуры пород в связи с увеличением их теплового сопротивления и теплоёмкости;
- сложности пород – по напластованию температуропроводность выше.

Температуропроводность практически не зависит от уровня минерализации пластовых вод.

## ГЕОТЕРМИЧЕСКИЙ ГРАДИЕНТ.

В геотермической зоне температура повышается с глубиной. В верхней мантии на глубине 400 км. температура составляет 1700°С, на глубине 2900 км она приближается к 2500°С, а на глубине 5000 км она составляет около 5000°С.

Перенос тепла в земной коре осуществляется кондуктивной теплопередачей, обусловленной теплопроводностью горных пород и конвекторной теплопередачей, связанной с циркуляцией подземных флюидов - воды, нефти, магмы, газов. Несмотря на то, что конвективный перенос тепла не является главной причиной теплопереноса, подземные флюиды и, прежде всего, вода занимают особое место в общем переносе тепла Земли благодаря высокой подвижности, значительной теплоёмкости и участию в геологических процессах.

Геотермический градиент  $\Gamma$ , к/м определяется формулой:

$$\Gamma = \frac{dT}{dH} \quad (6.5)$$

где  $H, м$ , - глубина.

В практике геотермических исследований геотермический градиент обычно определяют для интервала 100 м, и в среднем для земной коры этот градиент равен 3К. Наличие температурного градиента объясняется существованием глубинного теплового потока, направленного к поверхности Земли.

Интервал глубин земной коры в метрах, на котором температура повышается на 1 к, называется геотермической ступенью:

$$G = \frac{1}{\Gamma} \quad (6.6)$$

В среднем для осадочных пород геотермическая ступень принимается равной 33 м, а в действительности колеблется от 5 до 160 м (на территории России от 20 до 100м).

Среднее значение геотермальной ступени для древних кристаллических щитов составляет более 100 м, платформы 30 ... 80 м, для области новейшего вулканизма 5 ... 20 м.

**Таблица 6.1.**

**Геотермические ступени и градиенты для некоторых районов**

Районы	Ступень, м/К	Градиент, К/100м
Горно-складчатые области		
Альпийские:		
Карпаты	33,3 – 50	2 -3
Крым	20 - 33,3	3 – 5
Копетдаг	20 – 33,3	3 – 5
Кавказ	16,7 – 25,0	4 – 6
Куриско-Камчатская вулканическая зона	5,0 – 33,5	3 - 20
Герцинские и Каледонские:		
Урал	50 – 66,7	1,5 – 2,0
Саяны	40 – 50	2,0 – 2,5
Алтай	33,3 – 50	2,0 – 3,0
Тянь-Шань	28,6 - 40	2,5 – 3,5
Платформенные области		
На докембрийском фундаменте:		
Восточно-Сибирская	50 – 100	1,0 – 2,0
Русская	40 – 66,7	1,5 – 2,5
На палеозойском фундаменте:		
Западно-Сибирская	-	2,5 – 3,5
Кристаллические щиты		
Балтийский	100 – 125	-
Украинский	111,1 – 166,7	-

Для большинства площадей с пластовым типом водоносных горизонтов зависимость температуры от глубины линейная:

$$T_n = T_o + \Gamma H, \quad (6.7)$$

где:  $T_n$  – температура горных пород на глубине  $H, K$ ;

$T_o$  – температура нейтрального слоя пород;

$\Gamma$  – геотермический градиент, стабильный с глубиной,  $K/м$ ;

$H$  – глубина, м.

Значения геотермических градиентов и геотермических ступеней для России приведены в таблице 6.1

## 6.2. Ресурсы геотермальной энергии.

**Геотермальная энергия** — тепловая энергия Земли, выходящая из её глубинных слоёв в верхние поверхностные слои за счет теплопроводности твердых пород, а также в виде горячей воды или пароводяной смеси.

Геотермальные ресурсы подразделяются на гидрогеотермальные и петрогеотермальные.

**Гидрогеотермальные ресурсы** являются частью ресурсов геотермальной энергии, которая заключена в естественных коллекторах и представлена природными динамическими носителями тепловой энергии недр — геотермальными водами (вода, пар, пароводяная смесь).

Петрогеотермальные ресурсы представляют собой часть тепловой энергии, которая заключена в скелете водовмещающих пород и в водонепроницаемых сухих горных породах.

Из всех пригодных для использования геотермальных ресурсов на долю термальных вод приходится чуть больше 1% и соответственно 99% приходится на петрогеотермальные ресурсы.

Практическое использование колоссальных запасов тепла петрогеотермальных ресурсов связано с необходимостью решения ряда весьма сложных научно-технических проблем проектирования и создания в промышленных масштабах эффективных подземных искусственных систем, тепловых котлов повышенной проницаемости и т.д.

Геотермальная энергия характеризуется следующими основными параметрами:

**Валовой потенциал** — средний годовой объём геотермальной энергии, содержащийся в исследуемом массиве горных пород в границах освоения глубины бурения, при полном её превращении в полезно используемую энергию.

**Технический потенциал** — часть валового потенциала, преобразование которого в полезно-используемую энергию возможно при данном уровне развития технических средств, при соблюдении требований по охране окружающей среды.

**Экономический потенциал** — часть технического потенциала, преобразование которого в полезно используемую энергию экономически целесообразно при данном уровне цен на ископаемое топливо, тепловую и электрическую энергию, оборудование, материалы и транспортные услуги, оплату труда и др.

Классификация ресурсов геотермальной энергии и их значения приведены в таблице 6.2.

Распределение ресурсов геотермальной энергии по регионам России приведено в таблице 6.3.

**Таблица 6.2**

**Классификация ресурсов геотермальной энергии**

В терминологии	В терминологии, установившейся в прикладной геотермии	Единица измерения	Оценка
Валовой потенциал	Общие геотермальные ресурсы: всего петрогеотермальные гидрогеотермальные	трлн т у.т. трлн т у.т. трлн т у.т.	* 2287,4/1263 2264,5/1250 22,9/12,6
Технический потенциал	Прогнозные ресурсы гидрогеотермальной энергии при гидрогеоциркуляционной технологии их извлечения: - теплоноситель - теплоэнергетический потенциал	тыс. м <sup>3</sup> /сут млн т у. т. /год	70,8*10 <sup>5</sup> 11868,7
Экономический потенциал	Прогнозные ресурсы гидрогеотермальной энергии: - теплоноситель - теплоэнергетический потенциал	тыс. м <sup>3</sup> /сут млн т у. т. /год	** 61*10 <sup>3</sup> /26*10 <sup>3</sup> 114,9/50,1

**Таблица 6.2 (Продолжение)**

В терминологии	В терминологии, установившейся в прикладной геотермии	Единица измерения	Оценка
Подготовительные для промышленного освоения	Эксплуатационные запасы геотермальной энергии: - теплоноситель - теплоэнергетический потенциал	тыс. м <sup>3</sup> /сут млн т у. т. /год	272,85 0,85

\* В числителе – ресурсы теплоснабжения в температурном режиме 70/20°С, в знаменателе – ресурсы для отопления в температурном режиме 90/40°С;

\*\* в числителе – первоочередные запасы гидрогеотермальной энергии с температурой воды более 50°С и минерализацией менее 35 г/л при ГЦС – технологии их извлечения; в знаменателе общие запасы гидрогеотермальной энергии при традиционной технологии их извлечения

**Таблица 6.3**

**Распределение ресурсов геотермальной энергии по регионам России**

Экономический район	Общие геотермальные ресурсы (валовый потенциал), трлн. т у.т.*	Прогнозные ресурсы при ГЦС – технологии их извлечения (технический потенциал), млн т у.т. /год	Прогнозные ресурсы первоочередного освоения (экономический потенциал), млн т у.т. /год **	Эксплуатационные запасы гидрогеотермальной энергии, подготовленные к практическому использованию, млн т у.т./год
Северный	44,3/12,2	-	-	-
Северо-Западный	0,7/0,2	-	-	-
Центральный	2,6/0,1	-	-	-
Волго-Вятский	0,7/0	-	-	-
Центрально-Черноземный	0,4/0,1	-	-	-
Поволжский	9,5/5,52	-	-	-
Северо-Кавказский	6,0/3,6	1747	25,1/9,8	0,6
Уральский	6,6/2,08	-	-	-
Заподно-Сибирский	286,7/178	10110	89,6/39,7	
Восточно-Сибирский	443,2/206,4	-	-	-
Дальневосточный	1486,7/206,4	11,7	0,2/0,6	0,25
<b>Всего</b>	<b>2287,4/1263</b>	<b>11868,7</b>	<b>114,9/50,1</b>	<b>0,85</b>

\* В числителе – ресурсы теплоснабжения в температурном режиме 70/20°C, в знаменателе – ресурсы для отопления в температурном режиме 90/40°C;

\*\* в числителе – первоочередные запасы гидрогеотермальной энергии с температурой воды более 50°C и минерализацией менее 35 г/л при ГЦС – технологии их извлечения; в знаменателе общие запасы гидрогеотермальной энергии при традиционной технологии их извлечения.

### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Общие потенциальные геотермальные ресурсы – характеризуют тепловой потенциал толщи пород на прогнозируемую глубину бурения до 10 км. Оцениваются исходя из предположения, что массив горных пород можно охладить до температуры окружающей среды. Плотность распределения ресурсов определяется по следующей формуле:

$$Q_o = K C_v (H_{пр} - h_{нс}) (t_{из} - t_{oc}), \quad (6.8)$$

где  $Q_o$  – плотность распределения ресурсов, в т.у.т./м<sup>3</sup>;

$K$  – коэффициент перехода от тепловой энергии к условному топливу, т.у.т./Дж;

$C_v$  – объемная теплоёмкость пород, Дж/м<sup>3</sup>\*С°

$H_{пр}$  – прогнозируемая глубина бурения, м;

$h_{нс}$  – мощность нейтрального слоя, м;

$t_{из}$  – средняя температура массива, С°;

$t_{из} = 0,5 (t_{пр} + t_{нс})$

$t_{пр}$  – температура пород на прогнозируемой глубине, С°;

$t_{нс}$  – температура нейтрального слоя, С°;

$t_{oc}$  – температура окружающей среды.

Технически доступные геотермальные ресурсы – рассчитываются в двух режимах, определяемых потребителем:

режим 70/20°C – для горячего водоснабжения (ГВС)

режим 90/40°C – для отопления.

В режиме 70/20°C плотность ресурсов геотермальной энергии определяется следующим выражением:

$$Q_T = K C_v (H_n - H_B) (t_{из} - 20), \quad (6.9)$$

где  $Q_T$  – плотность ресурсов, т.у.т./м<sup>2</sup>;

$E$  – коэффициент температурного излучения;

$H_n$  – нижняя граница ресурсного интервала, м ( $H = 6000$  м);

$H_B$  – верхняя граница ресурсного интервала, м;

$H_B = ((t_B - t_{нс}) / \Gamma) + h_{нс}$

$t_{из} = 0,5 (t_B + t_n)$ ,

где  $t_B$  – температура на верхней границе температурного интервала, С (в этом режиме для получения теплоносителя с температурой не менее 70°C средняя температура  $t$  из-с учетом потерь при транспортировке должна быть не меньше 80°C)

$t_n$  – температура на нижней границемассива ресурсного интервала, С;

$$t_n = \Gamma (H_n - h_{нс}) + t_{нс} \quad (6.10)$$

Исходя из положения  $t_{из} > 80°C$ ;  $t_B + 2 t_{из} - t_n$ ,

тогда минимальное значение  $t_B = 160 - t_n$ .

При высоких значениях  $t_n$  вводится ограничение  $t_B > 30°C$ .

Плотность ресурсов геотермальной энергии в режиме 90/40°C определяется по формуле:

$$Q_T = kE C_v (H_n - H_B) (t_{из} - 40), \quad (6.11)$$

Для обеспечения температуры теплоносителя, равной 90°C, средняя температура мас-сы должна быть не менее 100°C, а заданная температура на врехней границе ресурсного интервала – не менее 50°C.

Экономически эффективные геотермальные ресурсы складываются из двух составляющих:

$Q_{э1}$  — теплосодержания рабочего горизонта со средней температурой пород, близкой к потребностям заказчика при условиях равных или меньших произведенных затрат на добычу теплоты недр по сравнению с затратами на другие сопоставимые источники энергии;

$Q_{э2}$  — теплосодержания нижележащих пород до ограниченной глубины, определяемой из условия равенства затрат на добычу геотермальной энергии и затрат на другие сопоставимые источники.

### 6.3. Технологии добычи и использования геотермальной энергии.

#### СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.

Рост цен на органическое топливо существенно повышает конкурентоспособность энергетических технологий на основе ВИЭ, особенно геотермальной энергетики. Мировой потенциал изучения на сегодня геотермальных ресурсов составляет 0,2 ТВт электрической и 4,4 ТВт тепловой мощности. Примерно 70% этого потенциала приходится на месторождения с температурой флюида менее 130°C. По оценкам сегодня используется только 3,5% мирового геотермального потенциала для выработки электроэнергии и только 0,2% - для получения тепла.

Последние годы характеризуются резким увеличением объемов и расширением обла-

Таблица 6.4

#### Области использования геотермального тепла

Область применения	температурный интервал теплоносителя, °С
Энергетика: одноконтурная ГеоЭС бинарная ГеоЭС	130-300 90-200
Промышленность: металлургическая промышленность производство бумаги извлечение химических элементов нефтяная промышленность изготовление бетонных блоков текстильная промышленность деревообрабатывающая промышленность	90-140 90-120 80-105 70-85 70-80 50-80 45-90
Сельское хозяйство: разведение рыб обогрев грунта выращивание овощей пищевая промышленность теплицы	5-45 5-45 20-65 35-90 35-90
Теплофикация: тепловые насосы аэрокондиционирование местное теплоснабжение радиаторы обогрев тротуаров	5-55 25-50 50-85 50-95 40-80
Бальнеология: плавательные бассейны грязелечебницы	20-50 25-50



стей использования геотермальных ресурсов. В Энергетическом балансе ряда стран геотермальные энергетические технологии становятся доминирующими, а доля геотермальной энергетики в мировом энергетическом балансе неуклонно растет.

В зависимости от температуры геотермальные ресурсы широко используются в электроэнергетике теплофикации, промышленности, сельском хозяйстве, бальнеологии и других областях (таблица 6.4)

В отличие от ресурсной базы для сооружения ГеоЭС, где температура геотермального теплоносителя должна быть достаточно высокой, запасы средне- и низкотермального тепла, пригодного для теплоснабжения, чрезвычайно велики и находятся в мире практически повсеместно.

В последние годы активно развиваются геотермальные системы теплоснабжения на основе тепловых насосов. В таких системах в качестве первичного источника тепла используется низкопотенциальная (температурой до 55°C) термальная вода и петротермальная энергия верхних слоев земной коры. При использовании тепла грунта применяются грунтовые теплообменники, размещаемые либо в вертикальных скважинах глубиной до 300 м, либо на небольшой глубине (2 -3 м) горизонтально.

Примерно 57% общей мощности геотермальных тепловых систем в мире приходится на теплонасосные системы. Сегодня в мире работает 40 000 000 тепловых насосов различной мощности от 5 кВт до 50 МВт. Общая установленная мощность теплонасосных систем составляет 15723 МВт, при годовой выработке тепла 86673 Тдж. В 2005 г. геотермальные теплоносные системы теплоснабжения используются в 32 странах мира со средним коэффициентом преобразования  $K_p = 3,5$ . Наибольшее развитие эти технологии получили в США, Канаде, Германии.

В 2004 году в США было установлено 60 000 тепловых насосов и на сегодня в США 69% общего прямого использования геотермальных ресурсов реализуется на основе применения тепловых насосов.

В Германии общая тепловая мощность геотермальных систем составляет 505 МВт, из

**Таблица 6.5**

**Разведанные геотермальные месторождения**

Субъект РФ	Количество месторождений	температура, °С	эксплуатационные запасы, тыс. м <sup>3</sup> /сут	Добыча, тыс. м <sup>3</sup> /сут	Объем замещаемого топлива, т.у.т./год
Республика Дагестан	12	40-104	86,2	10,4	71400
Чеченская республика	14	60-108	64,68	н/д	н/д
Краснодарский край	13	72-117	35,574	4,39	49400
Ставропольский край	4	55-119	12,2	1,0	2800
Республика Адыгея	3	70-91	8,98	2,1	13300
Карачаево-черкесская республика	1	50-75	6,8	0,4	2900
Кабардино-Балкарская республика	2	56-67	5,3	0,05	н/д
Камчатская область	12	70-300	83,8 (32,5*)	34,3	151900
Сахалинская область	2	85-320	8,2*	н/д	н/д
Чукотский авт. окр. и Магаданская обл.	3	60-87	3,5	н/д	н/д

\* Пароводяная смесь, тыс. т/сут.

которых 400 МВт. - на основе применения тепловых насосов, использующих тепло грунта.

Благодаря переводу экономики на геотермальные ресурсы Исландия превратилась в развитую страну с высоким уровнем жизни. Более 87% теплоснабжения в Исландии осуществляется на геотермальном тепле, а в ближайшие годы планируется довести до 92%.

Россия располагает не только большими запасами органического топлива, но и геотермальными ресурсами, энергия которых на порядок превышает весь потенциал органического топлива. На территории России разведано 66 геотермальных месторождения с производительностью более 240 тыс. м<sup>3</sup>/сут. термальных вод и более 105 тыс. т/сут. парогидротерм (табл. 6.5). Пробурено 4000 скважин для использования геотермальных ресурсов.

Проблемой использования тепла Земли занимается около 50 научных организаций, которые находятся в ведении Российской академии наук и ряда министерств.

### ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.

При разработке геотермальных систем теплоснабжения необходимо обеспечивать максимальное значение коэффициента эффективности использования термоводозабора

Величина  $\eta_{\text{геот}}$  представляет собой отношение фактически использованного в течении года теплового потенциала скважины  $Q_{\text{факт.год}}$  к максимальному количеству тепла  $Q_{\text{мах.год}}$ , которое можно получить при круглогодичной эксплуатации скважины на дебите, соответствующем эксплуатационным запасам и сбратывании температуры отработанной (сбрасываемой) воды до условной температуры:

$$\eta_{\text{геот}} = \frac{Q_{\text{факт.год}}}{Q_{\text{мах.год}}} \quad (6.12)$$

$$Q_{\text{факт.год}} = G_{\text{Тф}} C (t_{\text{ТВ}} - t_{\text{сб}}) 3600 * 24 * \tau * 10^{-9} \text{ (ГДж)} \quad (6.13)$$

$$Q_{\text{мах.год}} = G_{\text{ТЭ}} C (t_{\text{ТВ}} - 5) 3600 * 24 * 365 * 10^{-9} \text{ (ГДж)} \quad (6.14)$$

где  $G_{\text{Тф}}$  – фактический дебит скважины, кг/с;

$G_{\text{ТЭ}}$  – максимальный дебит скважины, соответствующий эксплуатационным запасам, кг/с;

$C$  – теплоемкость термальной воды, Дж/кг °С;

$t_{\text{ТВ}}$  - температура термальной воды, °С;

$t_{\text{сб}}$  - температура сбрасываемой воды;

$\tau$  - время эксплуатации скважины, сут;

В качестве условий температуры может быть принята температура водопроводной воды в зимний период (5°С), которая учитывается при определении расхода тепла на горячее водоснабжение.

Значение коэффициента  $\eta_{\text{геот}}$  колеблется в следующих пределах:

отопление 0,05 ... 0,34;

вентиляция 0,15 ... 0,45;

горячее водоснабжение 0,7 ... 0,92.

Отсюда следует, что наиболее эффективно использование термальных вод для горячего водоснабжения.

При выборе схемы теплоснабжения выявляют количество потребителей термальной воды в расчетном режиме, которых классифицируют по предъявляемым ими требованиям к потенциалу теплоносителя, намечают последовательность подачи воды с учетом максимального использования её температуры. Кроме того, производят технико-экономическое обоснование с рассмотрением нескольких вариантов системы теплоснабжения.

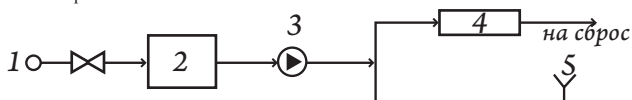
Простейшая схема показана на рис. 6.1. Геотермальная вода из скважины поступает в термоизолированный бак-аккумулятор, откуда насосом направляется непосредственно в отопительные системы горячего водоснабжения. После отопительных систем вода сбрасывается. Такая схема возможна только при высоком качестве геотермальной воды, отсутствия в ней вредных для здоровья людей компонентов и проблем с коррозией и отложением

солей в коммуникациях и оборудовании. Неравномерность потребления воды на горячее водоснабжение в течении суток регулируется баком-аккумулятором. В часы максимального водопотребления дополнительное количество воды забирается из бака-аккумулятора и, наоборот, в часы минимального потребления вода из скважины накапливается в баке.

На рис. 6.2 приведена принципиальная схема с пиковым догревом.

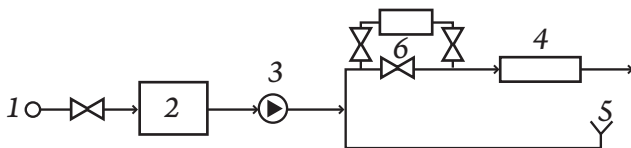
Система теплоснабжения с пиковым догревом используется в районах, где теплоэнергетический потенциал геотермальных ресурсов недостаточен для покрытия тепловых нагрузок потребителей. В периоды максимального теплопотребления включается пиковая котельная и термальная вода, проходя через неё, догревается до нужной температуры. С повышением температуры наружного воздуха и снижением теплопотребления пиковая котельная отключается и термальная вода напрямую направляется в систему отопления.

Если температура термальной воды низкая (до 55°C), то такую воду используют в системах теплоснабжения с тепловыми насосами (рис. 6.3.) термальная вода из скважины поступает в испаритель теплового насоса, где, передавая тепло испаряющемуся рабочему агенту, охлаждается. Образовавшийся пар сжимается компрессором с повышением его температуры и поступает в конденсатор. В конденсаторе тепло паровой фазы передается воде, циркулирующей в контуре отопительной системы. Отработанная термальная вода при её высоком качестве может быть использована на нужды хозяйственно-питьевого или технического водоснабжения. При неудовлетворительном составе воды закачивается обратно в материнский пласт.



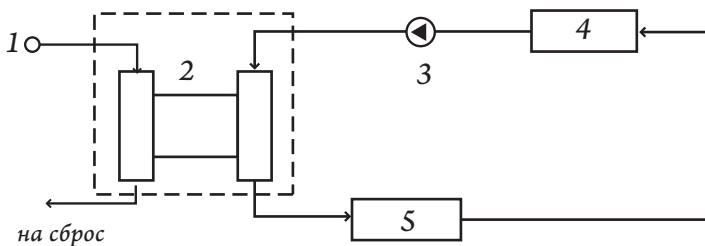
**Рис. 6.1.** Схема теплоснабжения с параллельной подачей термальной воды на отопление и горячее водоснабжение:

1 – термоводозабор; 2 – теплоизолированный бак-аккумулятор; 3 – сетевой насос; 4 – система отопления; 5 – система горячего водоснабжения.



**Рис. 6.2.** Схема теплоснабжения с параллельной подачей термальной воды на отопление и горячее водоснабжение с пиковым догревом:

1 – термоводозабор; 2 – теплоизолированный бак-аккумулятор; 3 – сетевой насос; 4 – система отопления; 5 – система горячего водоснабжения; 6 – пиковая котельная.



**Рис. 6.3.** Схема геотермального теплоснабжения с тепловым насосом:

1 – термоводозабор; 2 – тепловой насос; 3 – циркуляционный насос; 4 – отопительная система; 5 – пиковая котельная.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕТРОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ НЕДР

Несмотря на то, что бассейны геотермальных вод занимают довольно значительную часть суши, их энергетические ресурсы составляют 1% геотермального ресурса планеты. Энергетический ресурс тепла сухих горных пород занимает 99% этого ресурса. Поэтому геотермальная энергетика будущего должна базироваться на поиске экономичных способов извлечения тепла непосредственно из сухих горных пород.

Согласно прогнозу, выполненному в Лос-Аламосской лаборатории США, в топливно-энергетическом балансе произойдут в будущем принципиальные изменения. Уголь вытеснит нефть и газ, а затем петротермальная энергетика вытеснит уголь.

Первые опыты извлечения тепла сухих пород были выполнены Лос-Аламосской лабораторией. В массиве горячих скальных пород (Нью-Мексико, США) с помощью гидравлического разрыва была создана система трещин. Циркуляционная система включала нагнетательную скважину, по которой закачивалась холодная пресная вода, и эксплуатационную скважину, которая выводила нагретый в трещинах теплоноситель (Рис. 6.4).

Для предотвращения смыкания трещин гидроразрыва при понижении давления во время эксплуатации применяется их крепление отсортированным кварцевым песком фракций 0,5-0,8мм, который задавливается в трещины вязкой жидкостью. В карбонатных породах применяется обработка трещин соляной кислотой.

Циркуляция теплоносителя (пресной воды) при извлечении тепла горных пород происходит по контуру «нагнетательная скважина — трещины гидроразрыва — добычная скважина — потребитель тепла — нагнетательная скважина». Нагнетание холодной воды в горячий пласт и последующее её нагревание в трещинах гидроразрыва будет сопрово-

ждаться неравномерным термическим сжатием охлаждающихся пород, что вызывает дополнительное разрушение пород около трещин гидроразрыва. Это еще больше расширяет трещины и формирует вторичные трещины, что еще больше повышает эффективность извлечения тепла из горячих горных пород.

Освоение технологии геотермальных циркуляционных систем с искусственными коллекторами открывает широкие возможности использования основной части огромных геотермальных ресурсов, что в конечном итоге приведет к повышению экономической эффективности геотермальной энергетики. Важно отметить, что геотермальные циркуляционные системы такого типа можно создавать практически повсеместно. При этом устраняется один из таких основных факторов, препятствующих использованию геотермальных теплоносителей, как несовпадение их месторождений и потребителей.

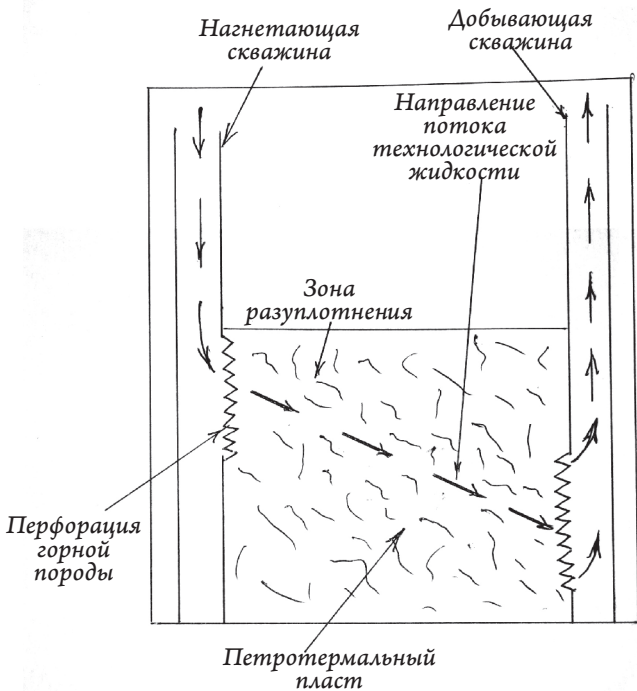


Рис. 6.4. Схема петротермальной циркуляционной петли

#### 6.4. Использование геотермальной энергии для выработки электроэнергии.

##### РАЗВИТИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ.

Одним из наиболее важных направлений использования термальных вод является преобразование его в электрическую энергию. Относительная независимость от потребителей, экономичность при умеренной мощности и особая ценность электрической энергии обусловили приоритетное развитие ГеоЭС. Во многих странах достигнуты значительные успехи в этой области. Принято, что если температура геотермального флюида более 100°С,

Таблица 6.6.

Рост установленной мощности геотермальной электроэнергетики в странах мира, МВт

№ п/п	Страна	год ввода первого генератора	1980	1990	1995	1998	2000	2005
1	Аргентина*	1988		0,7	0,7	0,7	0	0
2	Австралия	1987			0,2	0,4	0,2	0,2
3	Австрия							1
4	Китай	1970		19	29	32	29,17	28
5	Коста-Рика				55	120	142,5	163
6	Эль Сальвадор	1975	100	95	105	105	161	151
7	Эфиопия						8,52	7
8	Франция	1983		4,2	4,2	4,2	4,2	15
9	Германия							0,2
10	Греция *	1985		2	2	2	0	0
11	Гватемала					5	33,4	33,4
12	Исландия	1969	40	39	50	140	170	202
13	Индия	1979		145	310	589,5	589,5	797
14	Италия	1973	420	504,2	632	769	785	790
15	Япония	1966	250	215	414	530	546,9	535
16	Кения	1981		45	45	45	45	127
17	Мексика	1973	150	665	753	743	755	953
18	Новая Зеландия	1958	250	283	286	364	437	435
19	Никарагуа	1982		35	70	70	70	77
20	Папуа Новая							6
21	Филиппины	1977	250	894	1191	1861	1909	1031
22	Португалия	1979		3		11	16	16
23	Россия	1967	11	11	11	15	23	79
24	Таиланд			0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
25	Турция	1974		20	20	20	20,4	20,4
26	США	1960	700	2775	2817	2850	2228	2544
	Всего		2171	5867	6798	8239	7974,1	8910,7

\* В этих странах энергоблоки выведены из работы.

то его можно использовать для выработки электроэнергии.

Мировой потенциал изученных на сегодня геотермальных ресурсов составляет 0,2 ТВт электрической и 4,4 ТВт тепловой мощности. Примерно 70% этого потенциала приходится на месторождения с температурой флюида менее 130°C. По оценкам, сегодня используется около 3,5% мирового геотермального потенциала для выработки электроэнергии и 0,2% - для получения тепла.

Первая геотермальная электростанция (ГеоЭС) с экспериментальным генератором мощностью 10 Квт была сооружена в 1904 г. в Лардерелло (Италия).

Новейшие энергетические технологии с использованием геотермальных ресурсов отличаются экологической чистотой и по эффективности приближаются к традиционным. На ГеоЭС, использующих геотермальные циркуляционные технологии и бинарный цикл, полностью исключаются выбросы диоксида углерода в атмосферу, что является важнейшим экологическим преимуществом таких энергетических установок.

Развитие геотермальной электроэнергетики мира характеризуется следующими данными. За 60 лет с 1940 года по 2000 г. установленная мощность геотермальных электростанций увеличилась с 130 МВт до 7974 МВт, то есть в 61 раз. За пять лет с 1995 по 2000 г.г. рост установленной мощности составил 17%, т.е. более 3% в год. К началу 2005 г. ГеоЭС работали в 24 странах мира, суммарная установочная мощность достигала 8 910,7 МВт.

С 2000 по 2005 г.г. увеличение мощности составила 12%. Ситуация по различным странам представлена в таблице 6.6.

Геотермальная электроэнергетика по установленной мощности является значительной частью возобновляемой энергетики, развивается умеренными темпами (3 - 5% в год) и является одной из самых экономически эффективных технологий.

ГеоЭС, уступая ветровым ЭС в суммарной установленной мощности, существенно превосходит их по выработке электроэнергии (70% против 27%), что свидетельствует о высокой эффективности геотермальных энергетических технологий.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ГЕОЭС

Как уже отмечалось, ГеоЭС целесообразно сооружать, если температура геотермального флюида более 100°C. Обычно такие ресурсы относятся к парогидротермам, представляющим собой насыщенный пар с той или иной степенью сухости. Возможны различные пути использования парогидротерм в технологических схемах ГеоЭС.

Первый путь состоит в том, что пар, содержащийся в высокотемпературном флюиде, отделяют в сепараторе от жидкой фазы и направляют в паровую трубу, а жидкость закачивают обратно в пласт. Второй путь состоит в том, чтобы использовать первичный флюид для нагрева и испарения рабочего агента, циркулирующего во вторичном контуре бинарной ГеоЭС.

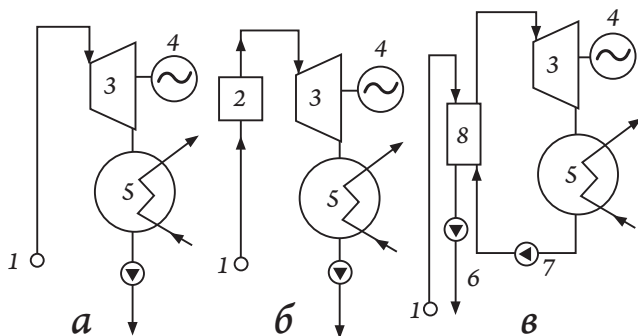
Возможна также комбинация обоих названных путей, когда отработанный в турбине пар и жидкий сепарат используются для нагрева, испарения и перегрева рабочего агента, циркулирующего в низкотемпературном контуре.

На рис. 6.5. приведены принципиальные тепловые схемы ГеоЭС, которые зависят от качества геотермального теплоносителя (температуры, паросодержания, минерализации и т.д.)

В схеме «а» сухой пар из скважины после отделения в сепараторе твердых включений направляется непосредственно в турбину, оттуда в конденсатор поверхностного типа. Охлажденный конденсат закачивается обратно в пласт.

В схеме «б» пароводяная смесь поступает в сепаратор — расширитель, в котором пар отделяется от жидкости и направляется в турбину, а отделенная жидкость и конденсат из конденсатора закачивается обратно в пласт.

В бинарном (двухконтурном) цикле (схема в) геотермальный теплоноситель передает теплоту в промежуточных теплообменниках другому рабочему телу.



**Рис. 6.5.** Тепловая схема ГеоЭС:

*а* – схема ГеоЭС, работающая на сухом паре с конденсатором поверхностного типа;

*б* – схема ГеоЭС, работающей на пароводяной смеси с одноступенчатым расширителем;

*в* – схема ГеоЭС, с бинарным циклом на низкокипящем рабочем агенте;

1 – геотермальная скважина;

2 – расширитель; 3 – турбина; 4 – генератор; 5 – конденсатор; 6 – нагнетательный насос; 7 – циркуляционный насос второго контура; 8 – блок теплообменника для нагрева, испарения и перегрева агрегата.

Бинарный цикл имеет свои преимущества и недостатки. К преимуществам относятся:

- более полное использование теплоты рассола и закачка его в пласт с меньшей температурой;
- возможность использования геотермальных ресурсов с пониженной температурой для выработки электроэнергии;
- агрессивные компоненты геотермального теплоносителя не попадают в турбину, конденсатор и другое оборудование, что обеспечивает более длительный срок их эксплуатации;
- сопутствующие вредные газы не попадают в окружающую среду.

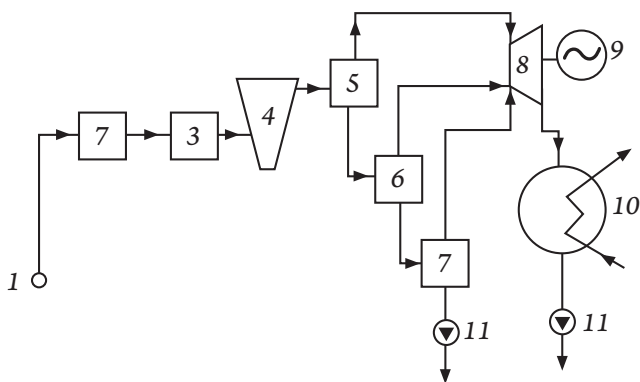
Недостатком цикла является усложнение схемы и некоторая потеря температурного (обычно и без того достаточно низкого) потенциала, поскольку для передачи тепла от флюида к рабочему телу необходима разность температур.

На рис. 6.6. приведена схема ГеоЭС с тремя расширителями. использование расширителей усложняет схему, обуславливает необходимость использования трех паровпусков в турбину, но позволяет существенно повысить выработку электроэнергии на единицу массы рассола, поднимаемого из скважины.

Прирост мощности ГеоЭС с двумя ступенями расширения по сравнению с ГеоЭС с одной ступенью достигает 20%, а для ГеоЭС с тремя ступенями – 27%.

**Рис. 6.6.** Принципиальная тепловая схема ГеоЭС с расширителями в качестве парогенерирующих устройств:

1 – геотермальная добычная скважина; 2 – дегазатор 1-й ступени; 3 – дегазатор 2-й ступени; 4 – шламоотделитель; 5 – расширитель 1-й ступени; 6 – расширитель второй ступени; 7 – расширитель третьей ступени; 8 – турбина; 9 – генератора; 10 – конденсатора; 11 – насос.



Идея применения неводяных паров в качестве рабочих тел теплосиловых установок для выработки электроэнергии впервые была реализована в России. В 1965 году была изготовлена установка УЭФ – 90/05 мощностью 750 кВт для выработки электроэнергии. Греющей средой для установки служила геотермальная вода Средне-Пратунского месторождения с температурой 80°C. В течение 1967 – 1974 г.г. на Камчатке в лаборатории натуральных испытаний Института теплофизики СО АН СССР проводились эксплуатационные исследования, подтверждающие надежную работу энергоустановки. Успешные испытания ГеоЭС расширили область эффективного потребления тепловой энергии низкого потенциала в электрическую энергию, позволили повысить глубину использования теплоты энергоресурсов недр Планеты.

### ***Контрольные вопросы.***

1. Как образуется тепло в недрах Земли?
2. Дайте определение теплопроводности, как свойству горных пород.
3. Дайте определение температуропроводимости горных пород.
4. Что такое геотермальный градиент?
5. Дайте определение геотермальной ступени.
6. Чем отличаются гидрогеотермальные ресурсы от петрогеотермальных ресурсов?
7. Дайте определение параметров геотермальных ресурсов:
  - валового потенциала,
  - технического потенциала,
  - экономического потенциала.
8. Какие существуют технологии добычи и использования геотермальной энергии?
9. Какие существуют схемы использования гидрогеотермальной энергии?
10. Какие существуют схемы использования петрогеотермальной энергии?
11. Дайте определение петрогеотермальной циркуляционной петли.
12. Нарисуйте технологические схемы геотермальных систем теплоснабжения.
13. Нарисуйте технологические схемы геотермальных электростанций.

### ***Задачи для самостоятельного решения.***

1. На Камчатке температура горных пород на некоторой глубине достигает 600°C для использования этого геотермального ресурса была пробурена скважина и на её конце создана полость шарообразной формы диаметром 10 метров. В эту полость закачивается вода при начальной температуре 30°C, где нагревается до температуры 200°C, оставаясь в жидком состоянии (при соответствующем высоком давлении), а затем ее поднимают на поверхность и подают в паровую турбину.

В предположении что температура стенок полости равна 200°C, а температура горных пород составляет 600°C на расстоянии 100 метров от стенок полости, оцените расход воды и мощность турбины. Теплопроводность горной породы 2 Вт/(м.к.).

Теплоёмкость воды равна 4,2 МДж/(м<sup>3</sup>.к), а удельный тепловой поток (Вт/м<sup>2</sup>) равен произведению теплопроводности грунта на градиент температуры.

2. Для использования петротермальной энергии в тепловых насосах с вертикальными скважинами глубиной 300 м проведены исследования и установлено, что температурное поле вокруг скважины за 24 часа работы падает на 50% и восстанавливается только через 24 часа после прекращения работы. Для организации оптимального использования температурного поля вокруг скважины какое инженерное решение необходимо использовать? Нарисуйте схему отбора тепла грунта в скважине теплового насоса.

3. Разработайте эскизный проект трехконтурной системы теплоснабжения одноэтажного жилого дома площадью 150 м<sup>2</sup> на основе теплового насоса с рабочим агентом хладон R12, с горизонтальным земляным коллектором из металлопластмассовых труб, с глубиной их укладки 2 м. Нарисуйте принципиальную схему системы отопления этого дома.



### ***Рекомендуемая литература.***

1. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии - М: Физматлит. 2008 - 376 с.
2. Берман Э. Геотермальная энергия. М: Мир. 1978 - 416 с.
3. Дворов И.М. Дворов В.И. Освоение внутриземного тепла. М: Наука. 1984 - 161 с.
4. Денк С.О. Возобновляемые источники энергии. На берегу энергетического океана. Издательство Пермского государственного технического университета. 2008 - 286 с.

### **Заключение**

Возобновляемая энергетика — энергетика Природы Земли — энергетика будущего.

XXI век - век экологии и возобновляемых источников энергии, призванных заменить и вывести из эксплуатации все традиционные экологически «грязные» источники энергии.

Одно из перспективнейших инженерных направлений деятельности это инженерная защита окружающей среды встраиванием (вживлением) в естественные природные процессы возобновляемых источников энергии, как искусственного продолжения естественных процессов Природы.

Желаю творческих успехов всем, кто выбрал это благодатное направление деятельности.

Для заметок

Для заметок

## Список используемой литературы

Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. - М.: Физматлит, 2008 – 376 с.

Безруких П.П. Экономика возобновляемой энергетики // Энергия: экономика, техника, экология. 2009, № 10. С. 2-6.

Безруких П.П., Стребков Д.С. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии. - М.: ГНУ ВИЭСХ, 2005 – 264 с.

Денк С.О. Возобновляемые источники энергии. На берегу энерготехнического океана. - Изд. Перм ГУ – 2008 г - 286 с.

А. да Роза. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. М. Изд. дом «Интеллект». 2010 – 703 с.

Безруких П.П. Использование энергии ветра. М – Колос. 2008 – 196 с.

Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. М - «Радио Софт» - 2008 г. - 234 с.

Бушуев В.В. Об энергетической стратегии России // Вестник электроэнергетики, 1998, № 3

Гриценко А.И. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии – М: ВНИИГАЗ. 1996

Берман Э. Геотермальная энергия – М: Мир 1978-416 с.

Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России (Под общ. ред. П.П.Безруких – Спб: Наука. 2002 – 314 с.

Шпильрайн Э.Э. Проблемы и перспективы возобновляемой энергии в России / Перспективы энергетики 2003 Т.7 с. 393-403

Гриббс У. Энергетика будущего // В мире науки. 2007. № 1 с. 76-85

Ларин В. Малая гидроэнергетика России// Энергия: экономика, техника, экология. 2006 № 6 с. 42-47

Алхасов А.Б. Возобновляемая энергетика . - М: Физматлит, 2010 – 255 с.

Основы современной энергетики. Часть 2. Современная электроэнергетика. Под ред. профессоров А.П. Бурмана и В.А. Строева. М: Издательство МЭИ, 2003 - 451 с.

Плыкин В.Д. В начале было слово или след на воде. Ижевск. Издательство «Удмуртский университет». 1995 - 50 с.

Плыкин В.Д. Резонансная вихревая модель Вселенной. Интернет-ресурс: Google - запрос - Плыкин.

Учебное издание

Составитель  
доктор технических наук  
**Плыкин Виктор Дмитриевич**

## **ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

*Учебно-методическое пособие*

Отпечатано в авторской редакции  
с оригинал-макета заказчика