



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

## Учебное пособие

# «Энергосбережение в системах климатизации. Возобновляемые источники энергии»

Автор  
Галкина Н.И.

Ростов-на-Дону, 2018

## Аннотация

Содержит краткие сведения об используемых возобновляемых источниках энергии, таких как энергия солнца, ветра, земли, биомасса, приведены классификационные признаки и принципиальные схемы для основных видов данных источников энергии, расчетные формулы технологий и устройств, применяемых при использовании возобновляемых ресурсов, а также рассматривается экономическая составляющая использования возобновляемых источников энергии.

Предназначено для бакалавров направления подготовки 08.03.01 (270800.62) Строительство профиля подготовки «Теплогазоснабжение и вентиляция», изучающих дисциплину «Энергосбережение».

## Автор

к.т.н., доцент кафедры  
«Теплогазоснабжение и  
вентиляция» Галкина Н.И.



## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>Глава 1. Использование нетрадиционных источников теплоты. ....</b>	<b>5</b>
<b>Глава 2. Использование солнечной энергии.....</b>	<b>7</b>
2.1 Классификация систем солнечного теплоснабжения (ССТ).....	8
2.2 Солнечные коллекторы и их виды.....	18
2.3 Аккумуляция солнечной теплоты .....	36
2.4 Экономические характеристики солнечных коллекторов .....	39
<b>Глава 3. Использование энергии ветра. ....</b>	<b>42</b>
3.1 Типовой ряд и анализ энергоэффективности основных технических решений ветроэнергетических установок .....	42
3.2 Классификация ВЭУ. ....	44
<b>Глава 4. Тепловые насосы. ....</b>	<b>51</b>
4.1 Основные сведения.....	51
4.2 Классификация ТН.....	55
<b>Глава 5. Использование энергии биомассы .....</b>	<b>62</b>
5.1. Общие сведения .....	62
5.2 Непосредственное сжигание биомассы .....	65
5.3 Термохимическая переработка биомассы .....	69
5.4 Метановые сбраживания биомассы.....	71
<b>Глава 6. Когенерация .....</b>	<b>75</b>
<b>Библиографический список .....</b>	<b>84</b>
<b>Приложения .....</b>	<b>87</b>
Приложение А Термины и определения.....	87
Приложение Б Расчет установок ССТ для ГВС .....	93

## ВВЕДЕНИЕ

Энергия является основой для жизнедеятельности человечества: обеспечивает тепло для обогрева, производство и приготовление пищи, создание товаров. Поскольку человечество развивается, растет спрос людей на услуги, следовательно, продолжается рост потребности в энергии.

Популярные в XX веке источники энергии (нефть, газ, уголь) потребляются эффективно, а возобновляются очень медленно и, следовательно, следует ожидать их истощения в обозримом будущем. Возрастающая потребность в энергии из-за роста производственных мощностей и увеличения населения приведет к тому, что дополнительно требуется установленная мощность примерно в 2 раза больше современного уровня [1].

Этот фактор стимулирует переход к крупномасштабному использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а также интенсивное применение новых современных технологий эффективного использования энергоресурсов.

В этой ситуации назрела насущная необходимость перехода от высокоэнергозатратных технологий, использования ископаемых видов топлива к эффективным малоэнергозатратным технологиям и замене традиционных видов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) альтернативными (нетрадиционными) и ВИЭ, включающие солнечную, ветровую, геотермальную энергию, биомассу и энергию Мирового океана.

Таким образом, технологии использования ВИЭ, методы расчета основных показателей эффективности, рассматриваемые в данном учебном пособии, должны быть интересны современным специалистам в энергетической и смежных областях [2].

## ГЛАВА 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ.

Нетрадиционные ВИЭ – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии. К источникам такого рода относятся ветер, солнце, движущиеся водные массы, геотермальные воды и др.

В настоящее время становится актуальным применение возобновляемых источников электрической и тепловой энергии как в производстве, так и в быту. Это связано с проблемами доставки и экономии топлива, электрообеспечения районов с неразвитой централизованной сетью и необходимостью улучшения общей экологической обстановки [3, 4].

Существуют и более простые проблемы – обеспечение питания базовых сотовых станций в горных, пустынных и северных регионах, электропитание домов и поселков, удаленных от ЛЭП, геологических экспедиций, пастбищ и других сельскохозяйственных объектов, отдаленных объектов военного и гражданского назначения и многих других. Эти вопросы в ряде случаев можно успешно решить с помощью нетрадиционных источников малой мощности

Возобновляемая или регенеративная энергия («Зеленая энергия») – [энергия](#) из источников, которые, по человеческим масштабам, являются неисчерпаемыми. Основной принцип использования возобновляемой энергии заключается в её извлечении из постоянно происходящих в [окружающей среде](#) процессов и предоставлении для [технического](#) применения.

В [2014 году](#) около 19,2 % [мирового энергопотребления](#) было удовлетворено из ВИЭ [5].

В отличие от многих других мероприятий использования альтернативных ТЭР дает реальную, легко учитываемую экономию топлива и социальный эффект. Альтернативные источники, как правило, являются экологически чистыми. Наряду с этим, альтернативные источники энергии не требуют, как правило, транспортирования энергоресурсов. Они удобны для локального энергоснабжения небольших удаленных объектов.

### **Причины необходимости использования ВИЭ:**

- запасы других энергоресурсов не безграничны;
- при сжигании органического топлива оно превращается в отходы, по массе превышающие первичное топливо;

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

- при массовой добыче изменяются ландшафты (карьеры, перемещенный грунт, золоотвалы и т.д.), изменяется уровень грунтовых вод;
- добыча нефти и газа может приводить к необратимой деформации земной коры;
- негативное воздействие на растительный и животный мир;
- глобальное потепление.

Использование возобновляемых энергоресурсов даже без сокращения объемов потребления тепловой и электрической энергии позволит снизить потребление первичного топлива.

## ГЛАВА 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ.

Одним из важнейших компонентов альтернативной энергетики, достаточно широко используемых на практике сейчас, выступает солнечная энергетика [6].

В последнее время интерес к проблеме использования солнечной энергии резко возрос, и хотя этот источник также относится к возобновляемым, внимание, удивляемое ему во всем мире, заставляет рассмотреть его возможности отдельно.

**Солнечная энергетика** — направление нетрадиционной энергетики, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. Солнечная энергетика использует неисчерпаемый источник энергии и является экологически чистой, то есть не производящей вредных отходов [7].

Потенциальные возможности энергетики, основанной на применении непосредственно солнечного излучения, чрезвычайно велики. Солнечная энергия – кинетическая энергия излучения (в основном света), образующаяся в результате реакций в недрах Солнца. Поскольку ее запасы практически неисчислимы, ее относят к возобновляемым энергоресурсам. Солнечная энергия может быть использована для теплоснабжения (горячего водоснабжения, отопления), сушки различных продуктов и материалов, в сельском хозяйстве, в технологических процессах в промышленности.

Использование солнечной энергии может быть полезно в нескольких отношениях. Во-первых, при замене ею ископаемого топлива уменьшается загрязнение воздуха и воды. Во-вторых, замена ископаемого топлива означает сокращение импорта топлива, особенно нефти. В-третьих, заменяя атомное топливо, мы снижаем угрозу распространения атомного оружия. Наконец, солнечные источники могут обеспечить нам некоторую защиту, уменьшая нашу зависимость от бесперебойного снабжения топливом [8].

**Достоинствами** использования солнечной энергии являются:

- неисчерпаемость;
- экологичность;
- повсеместная доступность;
- многогранность применения.

**Недостатки** при использовании солнечной энергии:

- зависимость от погодных условий и времени суток;
- сезонность в средних широтах и нерентабельность в высоких;
- большие затраты на строительство;
- постоянный уход за поверхностью;
- выделение теплоты в атмосферу.

Основные термины и определения, относящиеся к изучению солнечной энергетики представлены в приложении А [9].

## 2.1 Классификация систем солнечного теплоснабжения (ССТ).

ССТ могут быть классифицированы по различным критериям (рис. 2.1) [10]:

**а) по способу использования солнечной радиации:**

– **пассивные системы** – это ССТ, в которых в качестве элемента, воспринимающего солнечную радиацию и преобразующего ее в теплоту, служат само здание или его отдельные ограждения (здание-коллектор, стена-коллектор, кровля-коллектор) (рис.2.2);

В системах пассивного солнечного теплоснабжения теплота поглощается и аккумулируется самими строительными элементами здания, а распределение ее в отапливаемом помещении происходит чаще всего естественным путем. Пассивная система отличается простотой, а ее эффективность достаточно высока – она обеспечивает до 60% отопительной нагрузки.

Пассивные системы получают с помощью проектирования зданий и подбора строительных материалов таким образом, чтобы максимально использовать энергию Солнца [7].

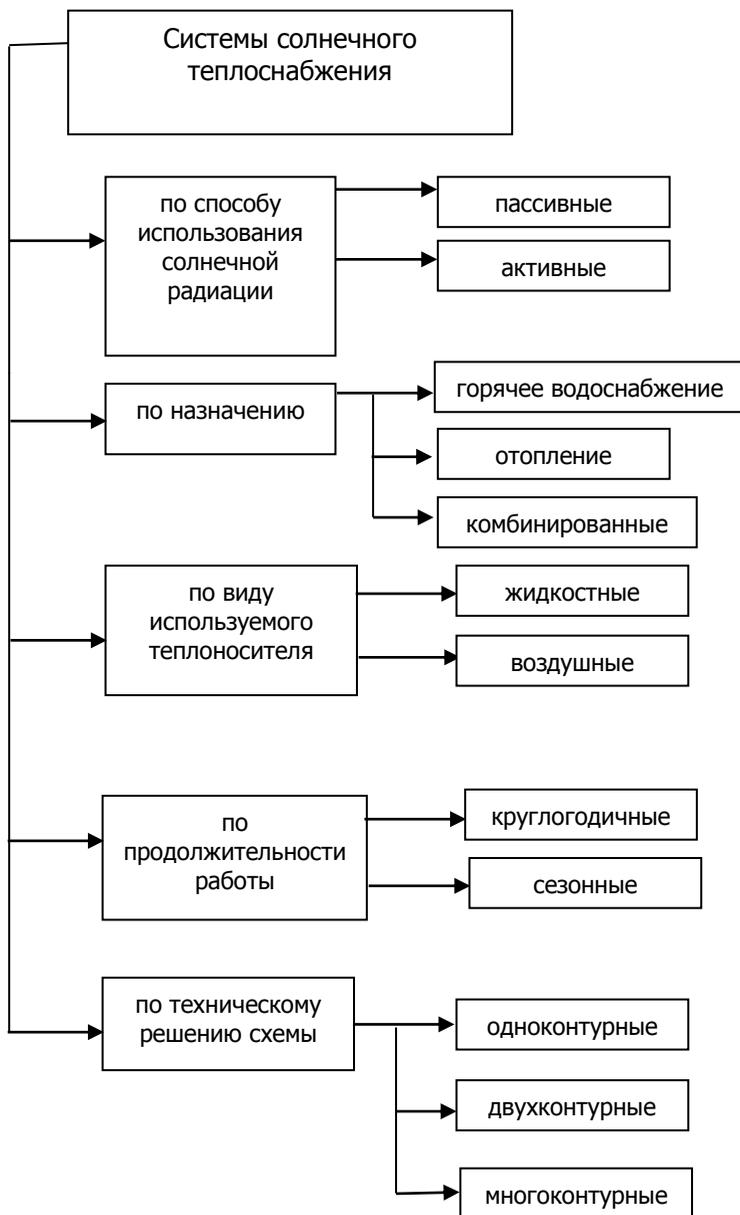


Рис. 2.1 – Классификация систем солнечного теплоснабжения

Проект пассивных солнечных зданий разрабатывается с максимальным учетом местных климатических условий, в нем применяются соответствующие технологии и материалы для обогрева, охлаждения и освещения здания за счет энергии Солнца (традиционные строительные технологии и материалы, такие как изоляция, массивные полы, обращенные к югу окна).

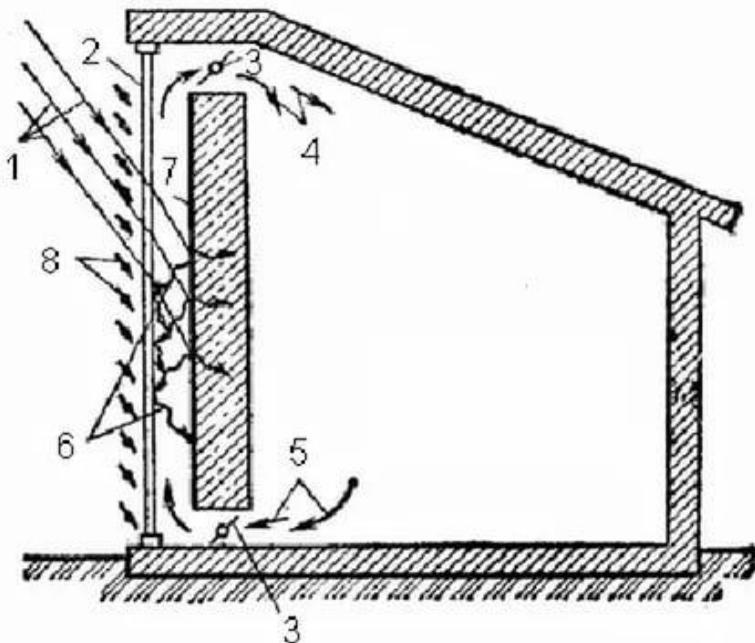


Рис. 2.2 – Пассивная ССТ «стена-коллектор»:

1 – солнечные лучи; 2 – лучепрозрачный экран; 3 – воздушная заслонка; 4 – нагретый воздух; 5 – охлажденный воздух из помещения; 6 – собственное длинноволновое тепловое излучение массива стены; 7 – черная лучевоспринимающая поверхность стены; 8 – жалюзи.

– **активные системы** – это ССТ, в которых гелиоприемник является самостоятельным отдельным устройством, не относящимся к зданию.

К активным солнечным системам (гелиосистемам) относятся солнечные коллекторы различных видов. Также в настоящее время имеются разработки фотоэлектрических систем – это системы,

которые преобразуют солнечную радиацию непосредственно в электричество.

Активные гелиосистемы могут классифицироваться по различным признакам.

Дальнейшая классификация представлена для активных гелиосистем.

**б) по назначению:**

– **системы горячего водоснабжения (ГВС)** – системы, работающие для восполнения нужд горячего водоснабжения (рис. 2.3);

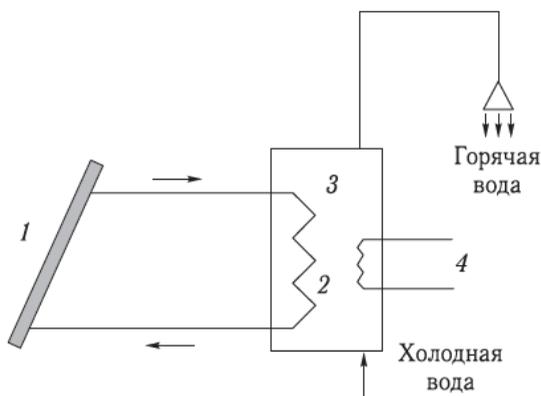


Рис. 2.3 – Схема гелиосистемы для нужд ГВС:

- 1 – солнечный коллектор, 2 – теплообменник,
- 3 – бак-аккумулятор (БА), 4 – электронагреватель.

Через солнечный коллектор 1 циркулирует теплоноситель (антифриз). Теплоноситель нагревается в солнечном коллекторе энергией Солнца и отдает затем тепловую энергию воде через теплообменник 2, вмонтированный в бак-аккумулятор 3. В баке-аккумуляторе 3 хранится горячая вода до момента ее использования, поэтому он должен иметь хорошую теплоизоляцию.

В первом контуре, где расположен солнечный коллектор, может использоваться естественная или принудительная циркуляция теплоносителя. В бак-аккумулятор 3 может устанавли-

ливаться электрический или какой-либо другой автоматический нагреватель-дублер 4. В случае понижения температуры в баке-аккумуляторе 3 ниже установленной (продолжительная пасмурная погода или малое количество часов солнечного сияния зимой) нагреватель-дублер 4 автоматически включается и догревает воду до заданной температуры.

– **системы отопления** – системы, работающие для выполнения нужд отопления здания. Гелиосистемы отопления зданий обычно двухконтурные или чаще всего многоконтурные, причем для разных контуров могут быть применены различные теплоносители (например, в гелиоконтуре – водные растворы незамерзающих жидкостей, в промежуточных контурах – вода, а в контуре потребителя – воздух).

– **комбинированные системы** используют для целей теплохолодоснабжения. Комбинированные гелиосистемы круглогодичного действия для целей теплохолодоснабжения зданий многоконтурные и включают дополнительный источник теплоты в виде традиционного теплогенератора, работающего на органическом топливе, или трансформатора теплоты.

#### **в) по виду используемого теплоносителя:**

– **жидкостные** – системы, в которых в качестве рабочей, нагреваемой среды применяется жидкость (вода, теплоноситель на основе пропиленгликоля).

Вода является теплоемким и широкодоступным теплоносителем. Однако при температурах ниже 0°C в нее необходимо добавлять незамерзающие жидкости. Кроме того, нужно учитывать, что вода, насыщенная кислородом, вызывает коррозию трубопроводов и аппаратов. Но расход металла в водяных гелиосистемах значительно ниже, что в большой степени способствует более широкому их применению.

– **воздушные** – системы, в которых нагреваемой средой является воздух.

Воздух является широко распространенным незамерзающим во всем диапазоне рабочих параметров теплоносителем. При применении его в качестве теплоносителя возможно совмещение систем отопления с системой вентиляции. Однако воздух – мало-теплоемкий теплоноситель, что ведет к увеличению расхода металла на устройство систем воздушного отопления по сравнению с водяными системами.

**г) по продолжительности работы:**

– **круглогодичные** – системы, работающие на протяжении всего календарного года. Это, как правило, комбинированные системы солнечного теплоснабжения.

Использование солнечной установки в режиме круглогодичного ГВС обеспечивает высокие значения удельной теплопроизводительности, следовательно, и удельной годовой экономии топлива, так как в этом режиме тепловая мощность установки используется наиболее полно. Естественно, что более высокая годовая теплопроизводительность достигается в климатически наиболее благоприятных районах, таких как южная часть европейской территории РФ, южная часть Западной и Средней Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока. В целом использование солнечных установок в данном режиме с той или иной степенью эффективности может быть рекомендовано повсеместно южнее 60° с. ш. как в европейской, так и в азиатской части России. Рекомендуемая площадь солнечного коллектора составляет при этом 1,0–1,5 м<sup>2</sup> на одного человека.

– **сезонные** – системы, работающие в течении, как правило, летнего сезона. Сезонные гелиосистемы ГВС обычно одноконтурные и функционируют в летние и переходные месяцы, в периоды с положительной температурой наружного воздуха. Они могут иметь дополнительный источник теплоты или обходиться без него в зависимости от назначения обслуживаемого объекта и условий эксплуатации.

Использование солнечных установок в режиме сезонного ГВС имеет существенное преимущество с точки зрения простоты схемы (используется одноконтурная схема без промежуточного теплообменника, нет необходимости в применении антифриза и т. п.), но связано со снижением удельной теплопроизводительности в сравнении с режимом круглогодичного ГВС. Это снижение, естественно, тем больше, чем короче неотапительный период, то есть время использования установки в годичном цикле. Применение солнечных установок в режиме сезонного ГВС нецелесообразно там, где неотапительный период составляет менее пяти месяцев. Рекомендуемая площадь солнечного коллектора в данном режиме составляет 1 м<sup>2</sup> на одного человека.

**д) по техническому решению схемы:**

– **одноконтурные**, состоящие из одного контура циркуляции теплоносителя. Простейшим примером такой системы является схема подключения солнечного коллектора к бойлеру (рис.

2.4).

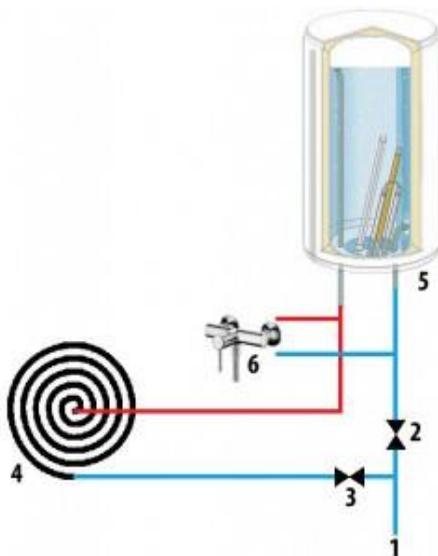


Рис. 2.4. Схема подключения солнечного коллектора к бойлеру:  
1 – напорный водопровод; 2,3 – краны; 4 – солнечный коллектор;  
5 – бойлер; горячий кран сантехнического прибора.

Перед началом нагревания воды солнечным коллектором 4 необходимо заполнить шланг водой и вытеснить из него воздух. Для этого закрывается кран 2 и для слива воды открывается горячий кран сантехнического прибора 6. Вода из напорного водопровода 1 начинает поступать в солнечный коллектор 4. После того как в сливной воде перестанут подмешиваться пузырьки воздуха, значит – в коллекторе воздушных пробок нет. Далее открывается кран 2 и холодная вода из бойлера под действием термосифонного эффекта (при нагревании коллектора солнцем) начинает перетекать в коллектор. Для отключения солнечного коллектора и использования нагретой воды или работы бойлера 5 в обычном режиме нужно закрыть кран 3.

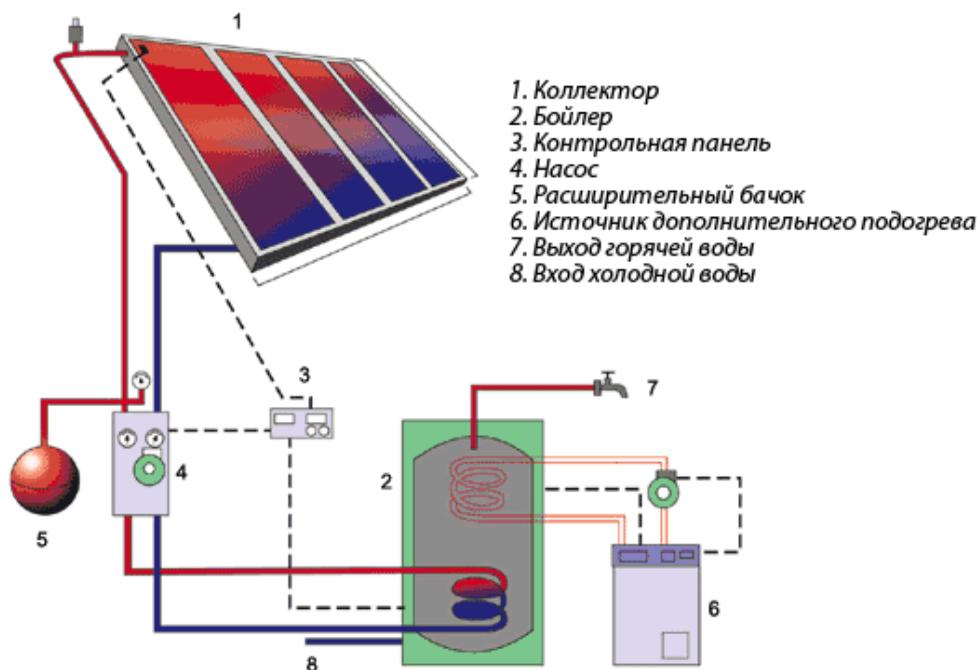
Эксплуатация не требует сложного и дорого оборудования, единственный минус такой простой системы — это то, что нужно периодически включать и отключать подачу воды в солнечный коллектор краном 3. При пасмурной погоде нагрев воды таким солнечным коллектором происходит частично, остальную часть

будет догревать бойлер, что всё равно даёт экономию.

– **двухконтурные.** Принципиальная схема двухконтурной ССТ представлена на рис.2.5.

Коллекторный контур системы является замкнутым и заполняется каким-либо незамерзающим и нетоксичным теплоносителем. Низкие температуры замерзания теплоносителя позволяют не сливать его из солнечного коллектора 1 в зимнее время, что также удешевляет эксплуатацию и повышает коррозионную устойчивость системы. Выбор теплоносителя осуществляется по их теплофизическим свойствам и стоимости [11].

На выходе из солнечного коллектора 1 в верхней точке контура устанавливается автоматический клапан-воздухоотводчик. Затем нагретый в солнечном коллекторе теплоноситель проходит через опускной трубопровод и поступает в нижний теплообменник БА 2, где охлаждается, передавая тепло расходной воде бака 8. После выхода из бака теплоноситель по трубопроводу поступает через насос 4 в нижнюю часть солнечного коллектора.



1. Коллектор
2. Бойлер
3. Контрольная панель
4. Насос
5. Расширительный бачок
6. Источник дополнительного подогрева
7. Выход горячей воды
8. Вход холодной воды

Схема горячего водоснабжения

Рис.2.5. Двухконтурная схема ССТ для нужд ГВС

Верхний теплообменник БА 2 подключен к отопительному котлу 6, соединенному с отопительным контуром здания. Циркуляция горячей воды из котла для нагрева БА осуществляется с помощью отдельного насоса.

Отбор расходной горячей воды из БА 7 выполняется в верхней точке бака подачей снизу в бак холодной воды 8 (то есть всегда расходуется самая горячая вода, имеющаяся в баке). Эта вода по магистрали подается к точкам отбора. Для обеспечения постоянного наличия в точках отбора горячей воды в систему может быть включена циркуляционная магистраль со своим насосом.

Фактически БА всегда находится под давлением водопроводной сети. Включение циркуляционного насоса коллекторного контура 4 производится блоком управления 3, который по своей функции является дифференциальным реле, сравнивающим показания двух датчиков температуры: датчика, установленного на

выходе теплоносителя из солнечного коллектора, и датчика, установленного в БА. Место установки датчика в баке может быть различным по высоте, и это влияет на параметры работы регулятора, а, следовательно, на теплопроизводительность системы и ее безопасность.

Если температура теплоносителя на выходе из солнечного коллектора выше, чем температура воды в баке, то включается циркуляционный насос и тепло передается воде в баке. При использовании современных насосов при работе может производиться регулировка частоты вращения насоса, чтобы, по возможности, поддерживать постоянной установленную разность температур управляющих датчиков.

– **многоконтурные.** Принципиальная схема ССТ приведена на рис. 2.6. Она является активной, многоконтурной, комбинированной (для нужд ГВС и воздушного отопления), жидкостной и круглогодичной, в соответствии с классификацией (рис. 2.1).

Она включает в себя три контура циркуляции:

– первый контур, состоящий из солнечных коллекторов 1, циркуляционного насоса 8 и жидкостного теплообменника 3;

– второй контур, состоящий из БА 2, циркуляционного насоса 8 и теплообменника 3;

– третий контур, состоящий из БА 2, циркуляционного насоса 8, водовоздушного теплообменника (калорифера) 5.

Функционирует ССТ следующим образом: теплоноситель (антифриз) теплоприемного контура, нагреваясь 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 БА 2. Из БА вода забирается насосом ГВС 8, доводится при необходимости до требуемой температуры в дублере 7 и поступает в систему горячего водоснабжения здания. Подпитка БА осуществляется из водопровода.

Для отопления вода из БА 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 дублер 6.

Выбор и компоновка элементов ССТ в каждом конкретном случае определяются климатическими факторами, назначением объекта, режимом теплоснабжения, экономическими показате-

лями [12].

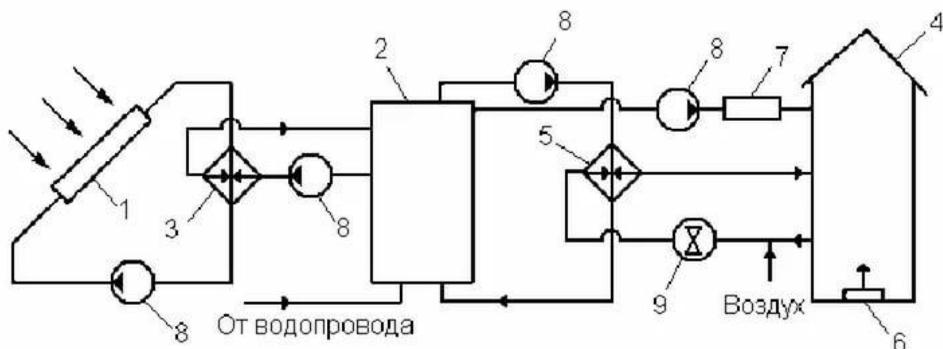


Рис. 2.6. Принципиальная схема ССТ:

- 1 – солнечный коллектор; 2 – БА; 3 – теплообменник;  
4 – здание; 5 – калорифер; 6 – дублер системы отопления;  
7 – дублер системы горячего водоснабжения; 8 – циркуляционный насос; 9 – вентилятор.

## 2.2 Солнечные коллекторы и их виды.

Основным элементом ССТ является **солнечный коллектор**.

**Солнечный коллектор** — устройство для сбора тепловой энергии Солнца (гелиоустановка), переносимой видимым светом и ближним инфракрасным излучением [13].

В отличие от солнечных батарей, производящих непосредственно электричество, солнечный коллектор производит нагрев материала-теплоносителя. Коллектор поглощает световую энергию Солнца и преобразует ее в теплоту, которая передается теплоносителю (жидкости или воздуху) и затем используется для обогрева зданий, нагрева воды, производства электричества, сушки сельскохозяйственной продукции или приготовления пищи.

### Классификация солнечных коллекторов:

#### а) по конструкции:

– **плоский коллектор** – самый распространенный вид солнечных коллекторов, используемых в бытовых водонагревательных и отопительных системах (рис.2.7). Плоский коллектор состоит из элемента, поглощающего солнечное излучение (абсорбер), прозрачного покрытия и термоизолирующего слоя. Абсорбер

связан с [теплопроводящей](#) системой. Он покрывается чёрной краской либо специальным селективным покрытием (обычно чёрный никель или напыление оксида титана) для повышения эффективности. Прозрачный элемент обычно выполняется из закалённого стекла с пониженным содержанием металлов, либо особого рифлёного [поликарбоната](#). Задняя часть панели покрыта теплоизоляционным материалом (например, [полиизоцианурат](#)). Трубки, по которым распространяется теплоноситель, изготавливаются из [сшитого полиэтилена](#) либо меди. Сама панель является воздухонепроницаемой, для чего отверстия в ней заделываются силиконовым герметиком. При отсутствии забора тепла (застое) плоские коллекторы способны нагреть [воду](#) до 190—210 °С.



Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

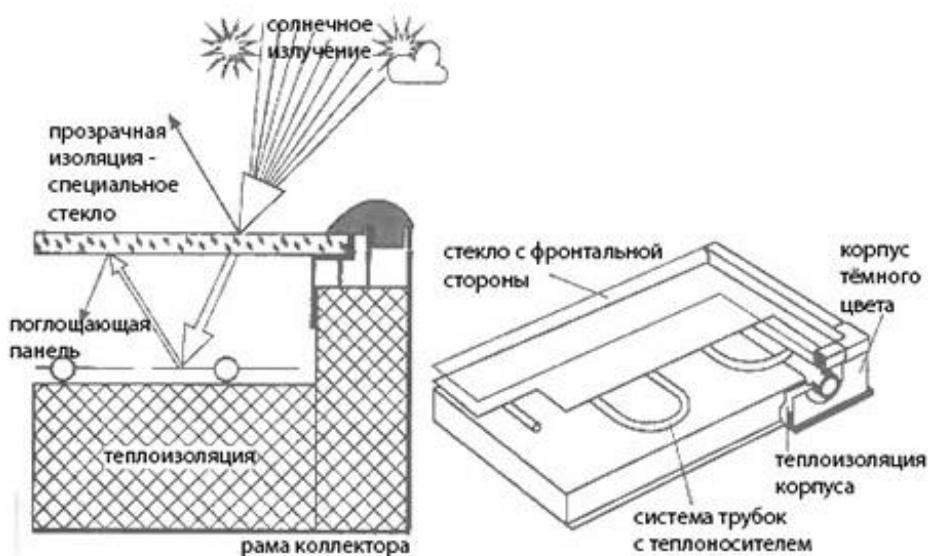


Рис.2.7. Плоский солнечный коллектор.

Чем больше падающей энергии передаётся теплоносителю, протекающему в коллекторе, тем выше его эффективность. Повысить её можно, применяя специальные оптические покрытия, не излучающие тепло в инфракрасном спектре, эффективность которого может составлять около 95%. Стандартным решением повышения эффективности коллектора стало применение абсорбера из листовой [меди](#) из-за её высокой теплопроводности, поскольку применение меди против алюминия даёт выигрыш 4 % (хотя теплопроводность алюминия вдвое меньше, что означает значительное превышение «запаса мощности» по теплопередаче), что незначительно в сравнении с ценой. Также высокая эффективность достигается увеличением площади контакта трубки и медного листа: у формованного листа и паянного соединение она максимальна, у соединения ультразвуковой сваркой – меньше. Используется также алюминиевый экран.

Коллектора такого типа применяются, как правило, в регионах с теплым солнечным климатом. Они резко теряют в эффективности в неблагоприятные дни – в холодную, облачную и ветреную погоду. Более того, вызванные погодными условиями конденсация и влажность приводят к преждевременному износу внутренних материалов, а это, в свою очередь, – к ухудшению

эксплуатационных качеств системы и ее поломкам. Эти недостатки устраняются путем использования вакуумных коллекторов [14].

– **вакуумный коллектор** нагревает воду для бытового применения там, где нужна вода более высокой температуры. Солнечная радиация проходит сквозь наружную стеклянную трубку, попадает на трубку-поглотитель и превращается в теплоту, которая передается жидкости, протекающей по трубке (рис.2.8).

Коллектор состоит из нескольких рядов параллельных стеклянных трубок, к каждой из которых прикреплен трубчатый поглотитель (вместо пластины-поглотителя в плоских коллекторах) с селективным покрытием. Нагретая жидкость циркулирует через теплообменник и отдает теплоту воде, содержащейся в баке-накопителе.

В роли теплоносителя выступает незамерзающая жидкость, которая проходя через верхнюю зону оборудования, поглощает тепловую энергию, выдаваемую специальными наконечниками из медных сплавов. В результате применения механизма змеевика в накопителе вакуумного солнечного коллектора происходит нагрев жидкости. Передача тепла по замкнутому циклу осуществляется до тех пор, пока градус самой жидкости не будет выше температуры воды в накопительном баке.



Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

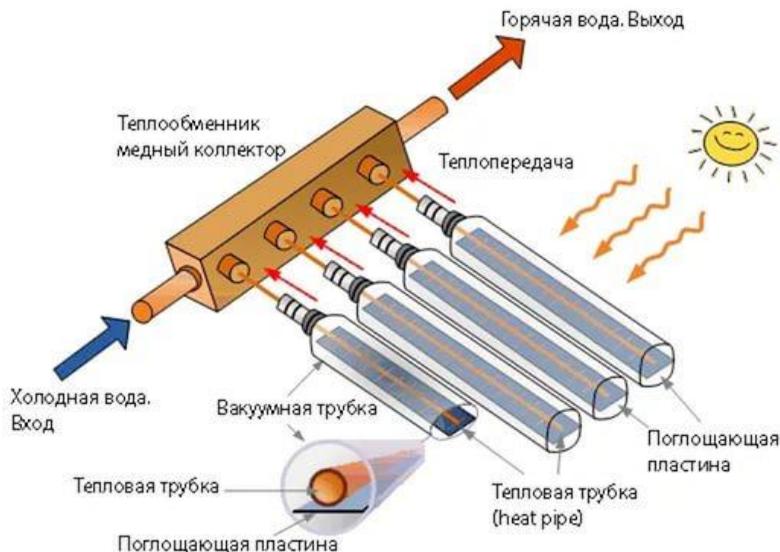


Рис.2.8. Вакуумный солнечный коллектор.

Вакуум в стеклянной трубке – лучшая из возможных теплоизоляций для коллектора – снижает потери теплоты и защищает поглотитель и теплоотводящую трубку от неблагоприятных внешних воздействий. Результат – отличные рабочие характеристики, превосходящие любой другой вид солнечного коллектора.

Преимущества вакуумных коллекторов:

- эффективность поглощения и преобразования солнечного тепла в 3-4 раза выше плоских и воздушных коллекторов;
- отлично работает в диапазоне температур 0-50°C, тогда как остальные виды солнечных коллекторов имеют рабочий интервал от 20°C;
- наименьшая чувствительность к направлению и углу падения солнечного света. Для нормальной работы солнечного коллектора достаточно быть освещенным солнцем даже под острым углом падения солнечных лучей, у остальных конструкций солнечных коллекторов при выходе за оптимальный угол освещения более чем на 20° эффективность падает на 10% в час.
- малый вес конструкции солнечного накопителя позволяет установить его непосредственно на крыше, даже без специальной несущей опоры.

Факторами, определяющими период работы подобной си-

стемы, являются температурные показатели атмосферы и продолжительность светового дня.

– **интегрированный коллектор (термосифонный)** – это «емкостной коллектор», который одновременно является и теплоаккумулирующим баком, в котором нагревается и хранится "одноразовая" порция воды. Такие коллекторы используются для предварительного нагрева воды, которая затем нагревается до нужной температуры в традиционных установках, например, в газовых колонках. В условиях домашнего хозяйства предварительно подогретая вода поступает в БА. Благодаря этому снижается потребление энергии на последующий ее нагрев (рис.2.9).



Рис.2.9. Интегрированный солнечный коллектор

Преимущества интегрированных коллекторов:

- экономия на электричестве;
- возможность использовать достаточно дешевую альтернативу солнечной водонагревательной системе;
- простота использования – минимум технического обслуживания, за счет отсутствия в нем движущихся частей (насосов и прочего).

– **фокусирующий коллектор (концентратор)** используют зеркальные поверхности для концентрации солнечной энергии на поглотителе, который также называется «теплоприемник» (рис. 2.10). Достигаемая ими температура значительно выше, чем на плоских коллекторах, однако они могут концентрировать только прямое солнечное излучение, что приводит к плохим показателям в туманную или облачную погоду. Зеркальная поверхность фокусирует солнечный свет, отраженный с большой поверхности, на меньшую поверхность абсорбера, благодаря чему достигается высокая температура.

Концентраторы работают лучше всего тогда, когда они обращены прямо к Солнцу. Для этого используются следящие устройства, которые в течение дня поворачивают коллектор "лицом" к Солнцу. Одноосные следящие устройства поворачиваются с востока на запад; двуосные – с востока на запад и с севера на юг (чтобы следить за движением Солнца по небу в течение года). Концентраторы используются в основном в промышленных установках, так как они дороги, а следящие устройства нуждаются в постоянном уходе. В некоторых бытовых солнечных энергосистемах используются параболические концентраторы. Эти установки применяются для ГВС, отопления и очистки воды. В бытовых системах применяются в основном одноосные следящие устройства – они дешевле и проще двуосных.

Такие коллекторы-концентраторы наиболее пригодны для регионов с высокой инсоляцией – расположенных близко к экватору и в пустынных районах.

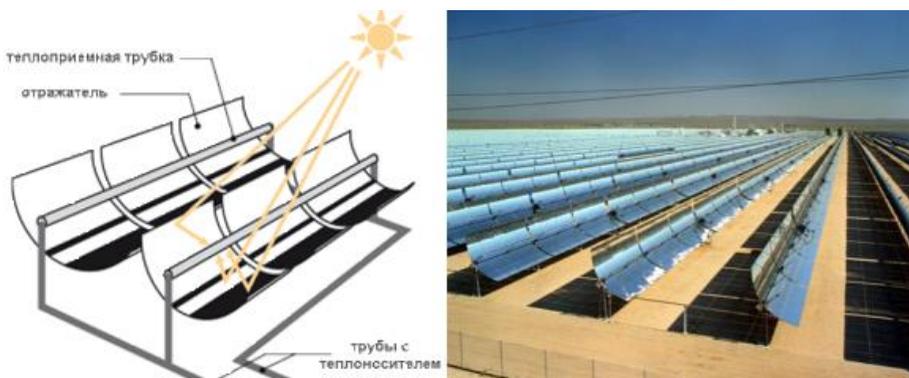


Рис.2.10. Фокусирующий солнечный коллектор

**б) в зависимости от температуры, до которой они способны достигать:**

– **коллектор низких температур** дает температуры теплоносителя не выше  $50^{\circ}\text{C}$ . Они широко применяются для подогрева воды в бассейнах, и в других случаях, когда не требуется слишком высокая температура воды.

– **коллекторы средних температур** способен нагревать воду от  $50$  до  $80^{\circ}\text{C}$ . Зачастую, они представляет собой плоскую остекленную пластину, в которой с помощью жидкости происходит теплопередача или же это коллекторы-концентраторы. В последних тепло концентрируется и может использоваться для нагрева воды в жилых секторах.

– **коллектор высоких температур**, как правило, имеет форму параболических тарелок. Такое устройство, в большинстве случаев используется большими предприятиями, которые генерируют электричество и распределяют его для городских электросетей.

**в) по материалу:**

– **металлический** коллектор является долговечным и эффективным. Предпочтительнее для тех случаев, когда солнечная радиация поступает не на всю поверхность теплоприемника, соприкасающегося с движущимся воздухом. Способствует устранению «горячих мест», вызванных неравномерным потоком воздуха над поверхностью, распределяя избыточное скопление тепла на другие поверхности, а от них к воздуху.

Выделяют три основных типа конфигурации таких коллекторов (рис.2.11):

– тип *I*, в котором воздуховод 1 помещен между пластиковым покрытием 2 и поверхностью теплоприемника 3;

– тип *II*, в котором дополнительный воздуховод располагается позади пластины теплоприемника 3;

– тип *III*, в котором отсутствует верхний воздуховод, а используется только воздуховод, расположенный за пластиной теплоприемника 3.

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

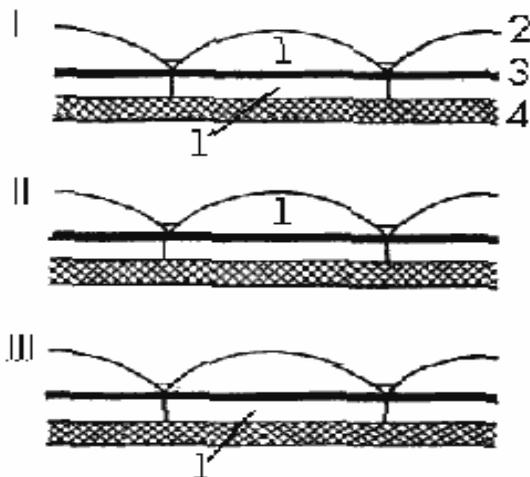


Рис.2.11. Типы конфигурации воздуховодов металлических коллекторов: 1 – воздуховод; 2 – пластиковое покрытие; 3 – теплоприемник; 4 – изоляция.

– **неметаллический** коллектор характеризуется снижением стоимости устройства, а также трудностью нанесения селективных покрытий.

**в) по виду теплоносителя:**

– **жидкостной** коллектор, в которых в качестве теплоносителя используется жидкость (вода или антифриз).

Жидкостной солнечный коллектор может быть реализован как солнечный обогреватель комнаты (рис.2.12), т.е. работать в качестве отопительного прибора: солнечный коллектор южной ориентации 2 наклонно опирается на стену здания 6. Высокий бак с горячей водой без теплоизоляции 15 находится в помещении, примыкая хорошо изолированной стенкой 14 к наружной стене. В результате естественной конвекции вода циркулирует из плоского коллектора 2 в бак 15 и обратно в коллектор. Если в данном климате возможны отрицательные температуры, в воду добавляется антифриз. Теплоту в помещение бак излучает своей передней стенкой.

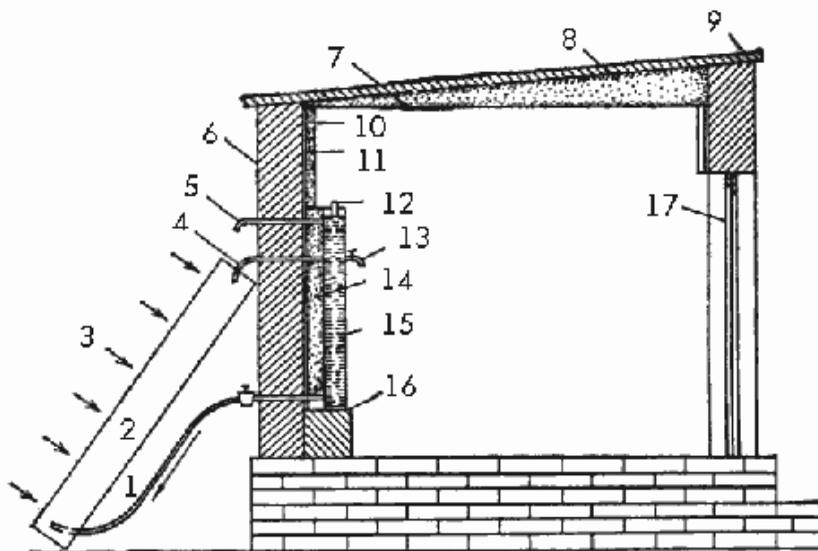


Рис.2.12. Жидкостной солнечный коллектор:  
 1 – холодная вода; 2 – солнечный коллектор;  
 3 – солнечная радиация; 4 – горячая вода; 5 – перелив; 6 – стена;  
 7 – фанера; 8 – изоляция; 9 – крыша; 10 – изоляция;  
 11 – воздушный зазор; 12 – отверстие для сообщения с  
 атмосферой и заливки; 13 – кран; 14 – стекловата; 15 – бак;  
 16 – подставка для бака; 17 – дверь.

– **воздушный** коллектор – это коллектор, теплоносителем в котором выступает воздух (рис.2.13-2.15), представляет собой набор тонкостенных алюминиевых труб с зачерненной матовой поверхностью. В работе коллектора используется принцип разгона нагреваемого воздуха в вертикальной трубе. Батарея труб имеет центральный подводящий холодный и отводящий горячий воздухопроводы, в холодном устанавливается центробежный вентилятор нулевого сопротивления. В случае необходимости он может быть отключен и в таком состоянии практически не создавать сопротивление движущемуся потоку воздуха. В устройстве есть воздухозаборник, позволяющий регулировать количество и соотношение воздуха, забираемого извне, и из отапливаемого помещения.

**Достоинства** воздушных коллекторов:

- высокая надежность и простота конструкции;
- маленькая масса устройства, гибкость настройки и простота монтажа;
- возможность отключения в некоторых случаях вентилятора (обогрев осуществляется самотёком).

**Недостатки:**

- низкий КПД;
- для работы вентиляторов необходимо использовать электроэнергию, что увеличивает затраты на работу системы.
- низкая теплоёмкость воздуха (приводит к увеличению габаритов таких установок);
- для увеличения эффективности приходится интегрировать коллектор в обогреваемого помещения.
- ограниченная сфера применения.

В теплопроизводительности воздушные коллекторы практически не уступают плоским системам, требуют вертикального расположения труб и максимальной освещенности солнцем. Мощность легко регулировать подбором количества труб теплообменника.

Воздушный коллектор может быть установлен в проемы существующих окон (рис.2.13). Прохладный воздух из помещения засасывается в солнечный коллектор нагретым воздухом, который из коллектора поступает в помещение.

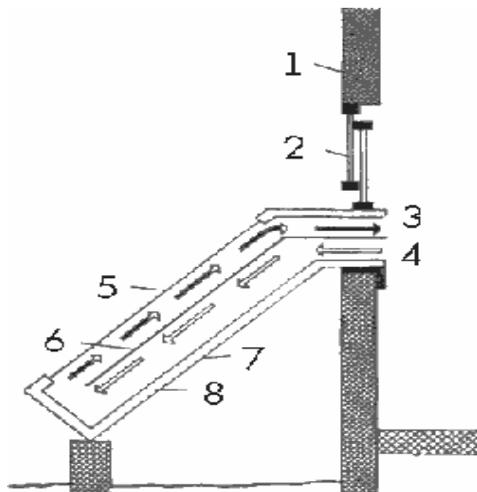


Рис.2.13. Воздушный солнечный коллектор,  
встроенный в оконную коробку:

- 1 – стена дома; 2 – окно; 3 – теплый воздух;  
 4 – прохладный воздух; 5 – стекло; 6 – коллектор; 7 – фанера;  
 8 – изоляция.

Вертикальный вариант этой конструкции особенно приемлем для крупных зданий (рис.2.14).

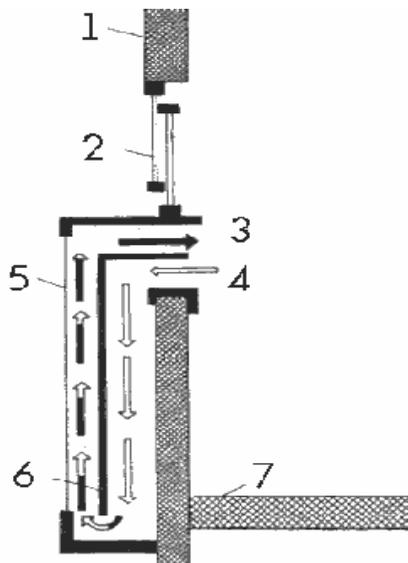


Рис.2.14. Вертикально установленный воздушный солнечный коллектор:

1 – стена дома; 2 – окно; 3 – теплый воздух; 4 – прохладный воздух; 5 – стекло или пластмасса; 6 – черная пластина коллектора; 7 – пол в помещении.

Размер солнечного коллектора должен превышать размер окна для обеспечения эффективности его действия. Для обеспечения пятидесяти процентной потребности в отоплении требуется солнечный коллектор размером 25...50% от площади пола здания.

Вариант коллектора, значительно превышающего размер окна представлен на рис. 2.15.

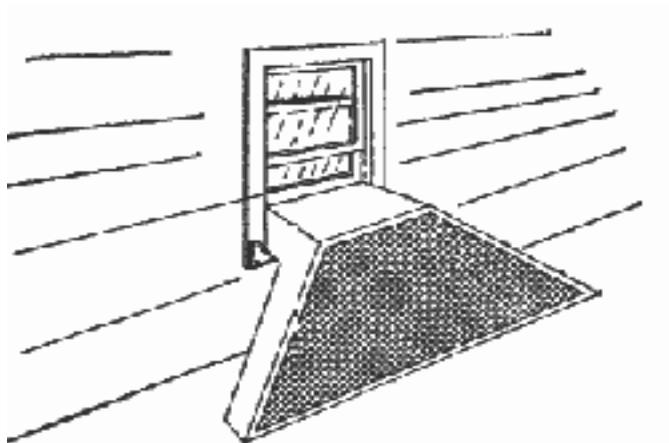


Рис.2.15. Солнечный коллектор, значительно превышающий размеры окна.

От эффективности солнечного коллектора в значительной степени зависит эффективность работы всей системы. Все конструктивные особенности любых солнечных коллекторов сводятся к обеспечению максимального поглощения солнечной энергии и минимальным тепловым потерям. Чем больше солнечной энергии поглотит система коллекторов, чем быстрее преобразует эту радиацию в тепловую энергию и чем меньше её потеряет по пути к теплу, БА, тем эффективнее будет работать система.

### **Различные варианты размещения солнечных коллекторов**

Существуют три основных способа переоборудования зданий:

- крепление солнечных коллекторов к существующим или несколько видоизменённым наружным стенам или крышам домов;
- установка коллекторов на пристройку к зданию (крыльцо, гараж, новое крыло);
- строительство сооружения для размещения солнечных коллекторов отдельно от здания (отдельно стоящий сарай, гараж или сооружение, построенное исключительно для размещения коллектора).

Условия размещения и ориентации солнечного коллектора

выбираются в соответствии с нормативными документами.

### **Монтаж солнечного коллектора**

Процесс установки включает в себя необходимые расчеты по оптимизации солнечной энергии, которая доступна в данном регионе, эти параметры зависят от ширины, долготы, особенностей климата и условий использования системы [10].

Самые важные факторы, которые возможно изменить — это угол наклона солнечного коллектора и ориентация установки (азимут). При установке коллектора на крышу дома угол наклона будет задан кровлей крыши. Наибольшее количество энергии впитывается под углом в 45 градусов, поэтому необходимо ориентироваться на угол наклона солнца относительно горизонта в вашей местности. Для наших широт оптимальными являются углы наклона между 30 и 45 градусами. Очень важной частью является поддерживающая установка — именно она будет нести опору для солнечного коллектора, она должна выдерживать порывы ветра и надежно фиксировать гелиосистему.

Традиционной схемой большинства ССТ является схема с использованием солнечных коллекторов с аккумуляцией полученной энергии в БА.

Обычно такие солнечные системы представляют собой комплект, состоящий из следующих основных элементов:

- солнечный коллектор;
- система опор для крепления солнечного коллектора на крышах (наклонных или плоских) или стенах;
- БА со встроенными теплообменниками;
- циркуляционный насос с комплектом измерительных приборов и клапанов;
- мембранный бак для компенсации теплового расширения теплоносителя коллекторного контура;
- блок управления работой насоса с датчиками температуры;
- трубопроводы с теплоизоляцией;
- запорно-регулирующая и предохранительная арматура;
- фитинги;
- теплообменники (для использования в комплекте с БА больших объемов).

Для определения эффективности ССТ в том или ином пункте или регионе необходимы следующие исходные данные:

- климатических условиях (средние за месяц значе-

- ния суммарной и рассеянной радиации на горизонтальную поверхность и среднемесячная температура воздуха.);
- тепловая нагрузка в расчете на одного человека;
  - характеристики применяемого оборудования;
  - коэффициент замещения тепловой нагрузки объекта (доля солнечной энергии в покрытии нагрузки)  $f$  за некоторый рассматриваемый период времени (месяц, сезон, год);
  - полезная теплопроизводительность установки  $Q$  за этот период;
  - площадь солнечного коллектора в установке  $F$ .
  - удельная теплопроизводительность  $q$ , отнесенная к 1 м<sup>2</sup> площади солнечного коллектора в установке.

### **Влияние климатических условий на выбор режима работы ССТ.**

При использовании солнечной установки в режиме теплоснабжения, т.е. при участии ее в покрытии нагрузки отопления и ГВС, площадь солнечного коллектора должна составлять не менее 0,4 от отапливаемой площади для достижения коэффициента замещения годовой тепловой нагрузки по большинству пунктов 0,25–0,40 [3]. В этом режиме удельная среднегодовая теплопроизводительность установки невелика вследствие недоиспользования ее тепловой мощности в летнее время.

Поэтому применение солнечных установок в данном режиме в большинстве районов России (ее европейской части, Западной и Средней Сибири) нецелесообразно. Исключение составляют районы Забайкалья (особенно южного), юга Хабаровского и Приморского краев. В этих районах в силу особенностей климата работа установки в режиме теплоснабжения может быть достаточно эффективной.

В Ростовской области пиковая интенсивность солнечной радиации составляет 0,9 кВт/м<sup>2</sup>, а суммарная – более 1,0 кВт/м<sup>2</sup>, годовая сумма солнечной радиации – 1350 кВт/м<sup>2</sup>, среднее число солнечных часов в году – 2250. Это создает условия для использования солнечной энергии для получения горячей воды с температурой 50 – 70°C с помощью простых солнечных коллекторов с апреля по октябрь включительно. В это время число солнечных часов составляет около 2000, а суммарная солнечная радиация – более 1250 кВт/м<sup>2</sup>. Число дней без солнца – не более 30, что дает возможность применять коллективные и индивидуальные установки с использованием тепловых аккумуляторов относительно малой мощности.

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

Данные по температуре и осадкам г. Ростова-на-Дону сведены в табл.2.1 и показаны на диаграмме (рис 2.16).

Географические координаты г. Ростова-на-Дону: широта 47°, долгота 39°. Продолжительность солнечного сияния – более 2000 ч/ год.

Интенсивность солнечной радиации для Ростовской области позволяет достигнуть высоких показателей продуктивности солнечных коллекторов. Температурные показатели также являются оптимальными для проектирования гелиоколлекторных установок.

Таблица 2.1

Температура и осадки г. Ростова-на-Дону в течении года.

Температура и осадки г. Ростова-на-Дону													
Показатель	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июнь	Июль	Авг	Сен	Окт	Нояб	Дек	Год
Абсолютный максимум, °С	15,0	19,8	26,0	33,6	35,6	38,4	39,6	40,1	38,1	31,0	25,0	18,5	40,1
Средний максимум, °С	-1	0,2	6,0	16,6	22,9	27,1	29,1	28,3	22,5	14,2	6,3	2,2	14,5
Средняя температура, °С	-4,4	-3,5	1,6	10,9	16,9	21,2	22,9	21,9	16,4	9,1	2,9	-0,7	9,7
Средний минимум, °С	-7,1	-6,3	-1,6	6,5	11,8	16,0	17,6	16,4	11,3	5,3	0,5	-3	5,6
Абсолютный минимум, °С	-31,9	-30	-28	-10,	-4,3	-0,1	7,6	2,6	-4,6	-10	-25,	-28,	-31
Норма осадков, мм	49	48	46	55	53	60	60	51	40	37	48	71	618

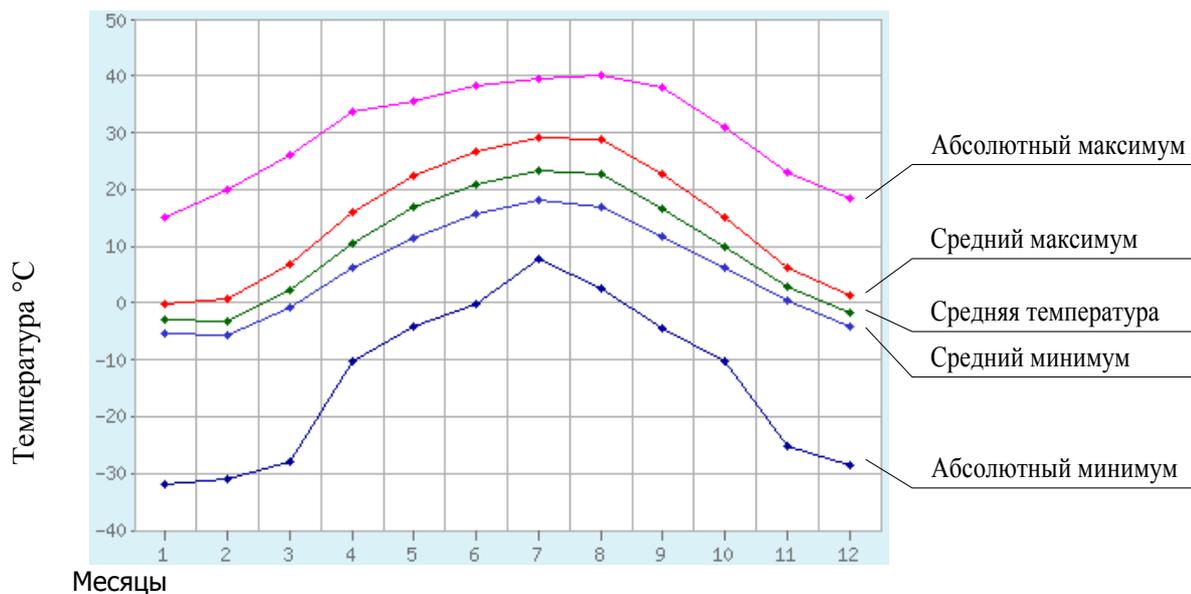


Рис. 2.16. Диаграмма температур г. Ростова-на-Дону в течении года.

### 2.3 Аккумулирование солнечной теплоты

Поступающая на землю солнечная энергия нестабильна и зависит от многих факторов, таких как время года и время суток, высота солнца над горизонтом и степень ясности дня, температура воздуха и влажность, плотность облачности и глобальное затемнение атмосферы [6].

Учитывая эти факторы, ССТ почти всегда подключаются к аккумулятору тепловой энергии. Это теплоизолированный бак с бытовой водой, в котором происходит передача тепловой энергии от жидкости теплоносителя к воде. Если нагретая бытовая вода не расходуется на нужды потребителей, то бак выполняет функции теплоаккумулятора и хранит в себе горячую воду.

**Тепловое аккумулирование** – это физические процессы, по средством которых происходит накопление тепла в тепловом аккумуляторе энергии.

#### **Классификация аккумуляторов теплоты:**

##### **а) по виду аккумулирующей и теплообменной среды:**

– прямое: аккумулирующей и теплообменной является одна и та же среда. Аккумулирующая среда может быть твердой, жидкой, газообразной или двухфазной (жидкость плюс газ).

– косвенное: энергия аккумулируется только посредством теплообмена (например, теплопроводностью через стенки резервуара) либо в результате массообмена специальной теплообменной среды (в жидком, двухфазном или газообразном состоянии).

Аккумулирующая среда может быть твердой, жидкой или газообразной (процесс может протекать без фазового перехода, с фазовым переходом твердое тело – твердое тело, твердое тело – жидкость или жидкость – пар).

Аккумуляторы также могут быть с постоянной или переменной массой, объемом и давлением.

##### **б) по характеру физико-химических процессов, протекающих в теплоаккумулирующих материалах:**

– аккумуляторы емкостного типа, в которых используется теплоемкость нагреваемого материала (галька, вода, водные растворы солей и др.);

– аккумуляторы фазового перехода вещества, в которых используется теплота плавления (затвердевания) вещества;

– аккумуляторы энергии, основанные на выделении и поглощении теплоты при обратимых химических и фотохимических

ских реакциях.

Наиболее широко распространены аккумуляторы теплоты емкостного типа.

**в) по природе аккумулирования:**

- теплоемкостные;
- аккумуляторы с фазовым переходом;
- термохимические аккумуляторы.

**г) по уровню рабочих температур:**

- низкотемпературные (до 100 °С);
- среднетемпературные (от 100 до 400 °С);
- высокотемпературные (свыше 400 °С).

**д) по продолжительности периода заряд—разряд:**

- краткосрочные (до 3-х суток);
- среднесрочные (до 1 месяца);
- межсезонные (до полугода).

При проектировании аккумулятора солнечной теплоты необходимо соизмерять стоимость с рабочими характеристиками. Некоторыми решающими факторами стоимости являются:

- выбор теплоаккумулирующей среды для теплового аккумулятора, которой могут служить, например, камни, вода;
- необходимое количество этой теплоаккумулирующей среды;
- размещение теплового аккумулятора либо в отапливаемом помещении, либо вне его;
- тип и размеры контейнера для аккумулирующей среды;
- теплообменники, если необходимо, для передачи или отбора теплоты от рабочего тела и механическое устройство для перемещения теплоаккумулирующей среды через аккумулятор или теплообменник.

Кроме этих факторов рабочие характеристики также зависят от средней рабочей температуры, падения давления теплоносителя, движущегося через теплоаккумулирующую среду, и от потерь теплоты контейнером в окружающую среду.

В табл. 2.1 приводятся теплоаккумулирующие способности нескольких распространенных материалов.

Таблица 2.1  
 Теплоаккумулирующие способности материалов

Теплоаккумулирующий материал	Удельная теплоёмкость, кДж/(кг°С)	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплоемкость, кДж/(м <sup>3</sup> °С)	
			Без пустот	30% пустот
Вода	4,18	993	4154	2881
Железный лом	0,502	7849	3953	2747
Магнетит (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	0,753	5126	3819	2680
Алюминиевый лом	0,962	2723	2613	1809
Бетон	1,13	2242	2546	1742
Камень	0,879	2723	2412	1675
Кирпич	0,837	2242	1876	1340
Натрий (до 100°С)	0,962	945	938	-

Наиболее эффективным теплоаккумулирующим материалом в жидкостных ССТ является вода. Для сезонного аккумулирования теплоты перспективно использование подземных водоемов, грунта горной породы и других природных образований.

Количество теплоты  $Q$ , [кДж], которое может быть накоплено в аккумуляторе теплоты емкостного типа, определяется по формуле:

$$Q = mc(T_2 - T_1),$$

где  $m$  — масса теплоаккумулирующего вещества, кг;  
 $c$  — удельная изобарная теплоемкость вещества, кДж/(кг · К);

$T_1$  и  $T_2$  — средние значения начальной и конечной температур теплоаккумулирующего вещества, °С.

Одна из методик расчета установок ССТ для ГВС приведена в приложении Б [15].

## 2.4 Экономические характеристики солнечных коллекторов

Основная проблема широкого использования солнечных установок связана с их недостаточной экономической эффективностью по сравнению с традиционными системами теплоснабжения [8]. Стоимость тепловой энергии в установках с солнечными коллекторами выше, чем в установках с традиционными топливами. Срок окупаемости солнечной тепловой установки  $T_{ок}$  можно определить по формуле (2.1):

$$T_{ок} = C / (E C_T - I_{эк}), \quad (2.1)$$

где  $C$  — удельная стоимость солнечной установки, руб/м<sup>2</sup>;  
 $E$  — годовое количество энергии, вырабатываемое солнечной установкой, кВт · ч/(м<sup>2</sup> · год);  
 $C_T$  — стоимость энергии традиционного источника, руб/(кВт · ч);  
 $I_{эк}$  — издержки эксплуатации, руб/(м<sup>2</sup> · год).

Экономический эффект установки солнечных коллекторов в зонах централизованного энергоснабжения  $\mathcal{E}$  может быть определен как доход от продажи энергии в период всего срока службы установки за вычетом издержек эксплуатации:

$$\mathcal{E} = (T_{сл} - T_{ок})(E C_T - I_{эк}) S, \quad (2.2)$$

где  $S$  — площадь коллекторов, м<sup>2</sup>;  
 $T_{сл}$  — срок службы установки.

В табл. 2.2 представлена стоимость систем солнечного теплоснабжения. Данные показывают, что отечественные разработки в 2,5–3 раза дешевле зарубежных. Низкая цена отечественных систем объясняется тем, что они выполнены из дешевых материалов, просты по конструкции и ориентированы на внутренний рынок.

Таблица 2.2

## Стоимость ССТ

Наименование	Основные параметры	Удельная стоимость, \$/м <sup>2</sup>	
		отечественные	зарубежные
Солнечные коллекторы	Площадь солнцеприемной панели 0,8- 1,6 м <sup>2</sup>	100-250	290-500
Системы горячего водоснабжения	На 1 м <sup>2</sup> установленных коллекторов	200-500	500-1000
Системы отопления и горячего водоснабжения	Те же	600-1200	1500-2000

Удельный экономический эффект (**Э/С**) в зоне централизованного теплоснабжения, в зависимости от срока службы коллекторов, составляет от 200 до 800 руб/м<sup>2</sup>.

Гораздо больший экономический эффект имеют установки теплоснабжения с солнечными коллекторами в регионах, удаленных от централизованных энергосетей, которые в России составляют свыше 70% ее территории с населением около 22 млн человек. Эти установки предназначены для работы в автономном режиме на индивидуальных потребителей, где потребности в тепловой энергии весьма значительны. В то же время, стоимость традиционных топлив намного выше их стоимости в зонах централизованного теплоснабжения из-за транспортных расходов и потерь топлива при транспортировке, т. е. в стоимость топлива в регионе **Ц<sub>тр</sub>** включается региональный фактор **r<sub>p</sub>**:

$$Ц_{тр} = r_p Ц_T, \quad (2.3)$$

где **r<sub>p</sub>** > 1 и для различных регионов может изменять свою величину. В то же время удельная стоимость установки **С** по-

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

что не изменяется в сравнении с  $C_{тp}$ . Поэтому при замене  $C_{т}$  на  $C_{тp}$  в формулах (2.1) и (2.2) рассчитываемый срок окупаемости автономных установок в зонах, удаленных от централизованных сетей, уменьшается в  $r_p$  раз, а экономический эффект возрастает пропорционально  $r_p$ .

В современных условиях России, когда цены на энергоносители постоянно растут и имеют неравномерность по регионам из-за условий транспортировки, решение вопроса об экономической целесообразности использования солнечных коллекторов сильно зависит от местных социально-экономических, географических и климатических условий [1,7].

## ГЛАВА 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА.

### 3.1 Типовой ряд и анализ энергоэффективности основных технических решений ветроэнергетических установок

Развитие ветроэнергетических установок (ВЭУ) очень многогранно и отражает различные стороны технологических и научных достижений современной цивилизации [16].

Исторически первым стационарным агрегатом, использующим энергию ветра, была ветряная мельница, которая вручную ориентировалась на ветер. Основным ее рабочим органом являлось многолопастное колесо с горизонтальной осью вращения, устанавливаемое по направлению ветра. Такие ветродвигатели широко применялись в средние века и в последующем для размолла зерна, подъема и перекачки воды, а также для привода некоторых производств.

Тенденции развития ВЭУ, как технических решений нетрадиционной энергетики, характеризуются общностью используемых технических решений.

Ветроэнергетика – это отрасль энергетики, связанная с разработкой методов и средств для преобразования энергии ветра в механическую, тепловую или электрическую энергию. Важной особенностью энергии ветра, как и солнечной энергии является то, что она может быть использована практически повсеместно.

Ветер – это движение воздуха относительно земной поверхности, обусловленное разностью атмосферного давления и направленное от высокого давления к низкому. Причиной неравномерного распределения давления атмосферы является неодинаковый нагрев воздуха, в основном, за счет солнечной радиации. Ветер характеризуется скоростью и направлением.

Ветер обладает кинетической энергией, которая может быть превращена ветромеханическим устройством в механическую, а затем электрогенератором в электрическую энергию.

Скорость ветра измеряется в километрах в час (км/час) или метрах в секунду (м/с):

Энергия ветра  $\mathcal{E}$  определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = 1/2 d A t S^3$$

где  $d$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$A$  – площадь, через которую проходит воздух, м<sup>2</sup>;

$t$  – период времени, с;  
 $S$  – скорость ветра, м/с.

ВЭУ представляет собой комплекс технических устройств для преобразования энергии ветра в другие виды: механическую, электрическую или тепловую.

Ветродвижитель является неотъемлемой частью ВЭУ. Ветродвижитель представляет собой устройство, преобразующее кинетическую энергию ветра в механическую энергию [17]. В состав ВЭУ также могут входить: рабочие машины (электрогенератор, тепловой генератор); аккумулирующие устройства; системы автоматического управления и регулирования и др.

К **основным техническим характеристикам ВЭУ** относятся:

- номинальная мощность ( $P_H$ , кВт) – это значение мощности ВЭУ, развиваемая при значениях скорости ветра в пределах от номинальной (расчетной) скорости до максимальной рабочей скорости. Значение  $P_H$  указывается изготовителем в паспорте на ветродвижитель;

- номинальная или расчетная скорость ветра ( $U_p$ , м/с) – скорость ветра, при которой ВЭУ развивает номинальную мощность. Для различных конструкций ветроустановок эта скорость различна;

- минимальная скорость ветра ( $U_o$ , м/с) – скорость ветра, при которой ВЭУ вступает в работу. Для тихоходных установок эта скорость не превышает 2...3 м/с. Для быстроходных ВЭУ  $U_o \geq 7$  м/с;

- максимальная рабочая скорость ветра ( $U_m$ , м/с) – скорость ветра, превышение которой может привести к разрушению ВЭУ. При  $U_p \geq U_m$  производят, так называемое, штормовое (или буревое) отключение ВЭУ. Значение  $U_m$  для различных типов ВЭУ лежит в пределах 25...60 м/с;

- номинальная частота вращения ветроколеса.

В России с середины 80-х гг. начались разработки ВЭУ и ветроэлектростанций (ВЭС) различной мощности. Мощность электроагрегатов, изготавливаемых отечественными предприятиями, находится в диапазоне от 0,04 до 1250 кВт.

Современные ВЭУ могут быть рентабельными в местностях со среднегодовой скоростью ветра, превышающей 3-5 м/с.

Максимальные скорости ветра в осенне-зимний период могут достигать 15 – 20 м/с. В среднем 200 – 250 дней в году

ветры в г. Ростове-на-Дону имеют скорость от 4 до 18 м/с.

Энергию ветра применяют более чем в 30 странах мира, в тех местах, где средняя скорость ветра на протяжении года составляет в пределах 4 м/с (14,4 км/ч и более): на морском побережье в Ирландии, Шотландии, Дании, Голландии, Франции, Испании, на юго-западе Англии и в Уэльсе, а также на большей части морского побережья Северной и Южной Америки, северной части Азии и Южной Австралии. Здесь получает развитие производство электроэнергии с помощью ветра.

### 3.2 Классификация ВЭУ.

Существуют две принципиальные схемы ВЭУ отличающиеся типом ветротурбины (рис. 3.1) [18].

ВЭУ бывают (рис. 3.2):

- с горизонтальной (однолопастные, двухлопастные, трехлопастные, многолопастные) осью;
- с вертикальной (с ортогональным ротором, с ротором Савониуса, с ротором Дарье, с геликойдным ротором, многолопастные с направляющим аппаратом) осью.

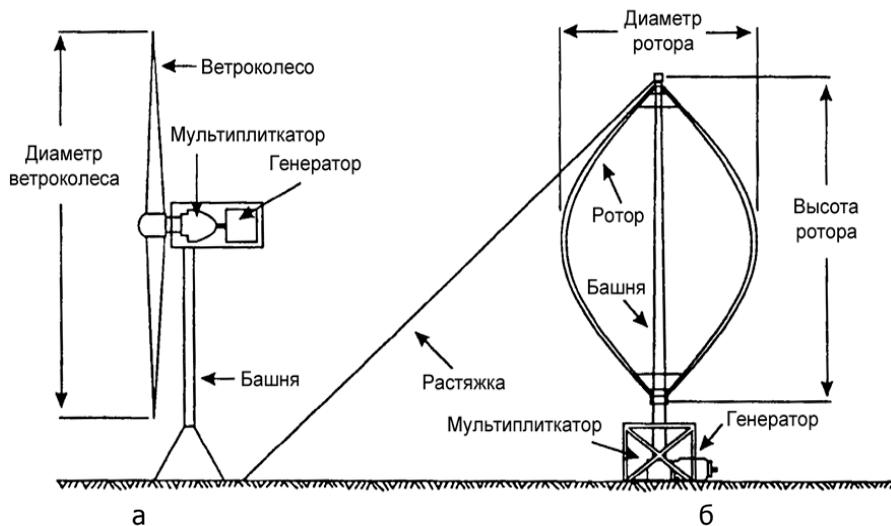


Рис. 3.1. Ветроустановки с горизонтальной (а) и вертикальной (б) осями вращения колеса.

**Ветроустановки с горизонтальной осью** занимают до-

минирующие позиции в ветроэнергетике. Это связано с целым рядом технологических и экономических причин. Речь идет о высокомоощных ВЭУ.

**Недостаток:**

- необходимость ориентации ротора на ветер, что требует внедрения дополнительных механизмов или способов ориентации.

**Достоинство:**

- высокая эффективность работы, за счет меньшего разброса углов атаки на рабочих режимах, а также, за счет возможности у отдельных ВЭУ управлять углом установки лопастей.

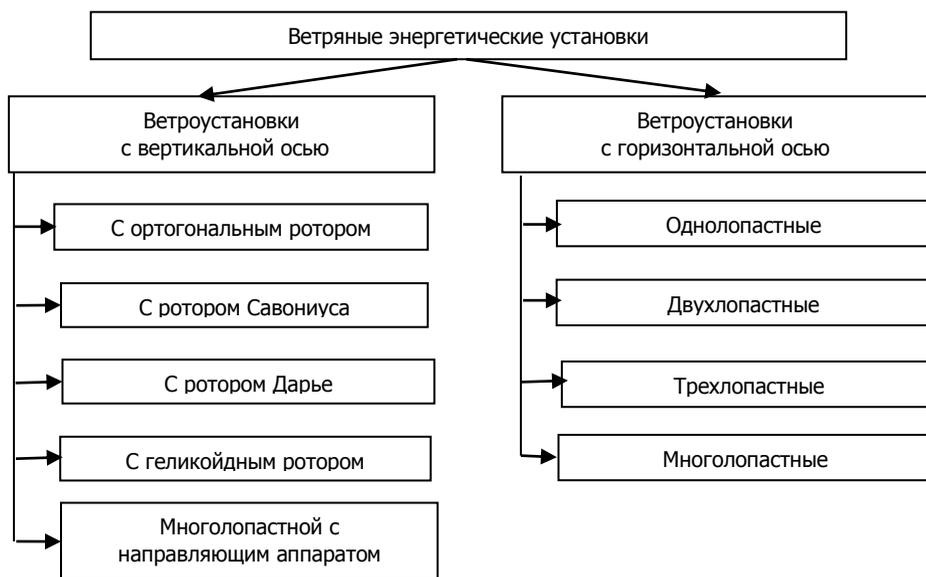


Рис. 3.2. Классификация ветроэнергетических установок

**Ветроагрегаты с вертикальной осью** используют в «малой» энергетике для обслуживания отдельные здания.

**Недостатки** при использовании:

- более низкая эффективность работы, по сравнению с горизонтально-осевыми ветрогенераторами, при одинаковых ометаемых площадях и более высокая материалоемкость, при одинаковой мощности;

- низкий стартовый момент ветротурбин и необходимость моторизованного старта;



Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

- низкая посадка ветроустановок, приводящая к тому, что для них недоступны стабильные и сильные ветры на больших высотах;
- специфика геометрии турбины, которая ведет к относительно быстрому разрушению лопастей вследствие усталостных нагрузок;
- конструктивные сложности при регулировании угла установки лопастей.

**Достоинства:**

- отсутствие необходимости использовать в их конструкции направляющие механизмы, так как работа этих установок не зависит от направления ветра;
- за счет вертикально расположенного главного вала, приводное оборудование может быть расположено на уровне земли, что значительно упрощает его эксплуатацию.

**Классификация горизонтальных ВЭУ** по размерам и мощности согласно европейской и американской классификациям, представлена в табл. 3.1.

С позиции технологических особенностей и области применения ВЭУ делятся на две группы:

- ВЭУ малой мощности (до 40 кВт);
- ВЭУ средней и большой мощности (100 кВт и более).

Таблица 3.1

Классификация горизонтальных ВЭУ по размерам и мощности

Размер	Диаметр ротора	Мощность
Маленькая (класс А)	Менее 12 м	Менее 40 кВт
Средняя (класс В)	От 12 до 45 м	От 40 до 1000 кВт
Крупная (класс С)	46 м и более	1 МВт и более

**Первая группа ВЭУ** рассчитана на индивидуальных потребителей частного сектора и на малый бизнес. Развитие ВЭУ малой мощности затормаживается по следующим причинам:

- высокая удельная стоимость агрегатов малой мощности;
- ограниченное количество площадок с хорошими ветровыми условиями;
- низкие показатели надежности и КПД;
- ограниченность в финансах у массового частного покупателя;



- слабая развитость маркетинговой и сервисной системы.

**ВЭУ второй группы** – характеризуются общими технологическими решениями, которые определяются задачами сетевой работы и крупными габаритами. Высокая единичная стоимость агрегатов этого класса компенсируется снижением удельной стоимости 1 кВт установленной мощности.

В России опыт применения ВЭУ имеется, но ожидать массового применения ветроустановок не приходится, так как наибольшие технические запасы сосредоточены большей частью в труднодоступных районах, т.е. районы с низкой плотностью населения и территориально удаленные малых поселений. Также ветряные электростанции в России будут дороже, чем в относительно теплых странах, т.к. другое климатическое исполнение предусматривает более крепкие конструкции и лопасти (для страховки от обледенения) [19]. Основные сложности внедрения ВЭУ и пути их решения сведены в табл. 3.2.

Что касается Ростовской области, то среднегодовая скорость ветра в Ростовской области 4-5 м/с – слишком маленькое значение для эффективной работы горизонтальных ветрогенераторов. А вот вертикальные отлично проявляют себя в наших условиях. Для старта им достаточно 0,17 м/с. На номинальную мощность они выходят при 3-5 м/с.

Таблица 3.2  
Проблемы развития ВЭУ и пути их решения.

Проблема	Путь решения
Очень шумные	При проектировании новой электростанции необходимо учесть расположение близлежащих домов, отступив от них на соответствующее расстояние.
Возможность срывания льда с лопастей ветровой турбины	Удаление ветровых станций от мест постоянного проживания людей
Создают угрозу гибели перелетных птиц	Орнитологическая экспертиза является обязательной для ветростанций во всем мире. Площадки для ветростанций выбираются в стороне от путей миграции птиц.
Ветровая энергетика сама по себе нестабильна и не так предсказуема, как другие виды	На сегодняшний день с точностью 95% составляются прогнозы почасовой выдачи энергии в течении дня. Этот высокий показатель планирования позволяет улучшить качество работы и надежность станций.

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

Вертикальный «ветряк», в отличие от горизонтального, работает бесшумно, без вибраций и излучений. Его можно устанавливать в непосредственной близости от здания и даже на крыше дома. Он очень компактен. Вертикальные ветрогенераторы – перспективная технология для юга России.

Перспективным направлением является создание солнечно-топливных котельных, а также гелиоустановок с подогревом воды посредством тэнов от ветроэнергетической установки [20].

В г. Ростове-на-Дону, для целей ГВС и отопления наиболее целесообразно в настоящее время использование энергии солнца и ветра. Геотермальные воды находятся на большой глубине и недостаточно изучены.

В качестве опытной установки для экспериментального определения эффективности применения ВЭУ и гелиоколлекторов в климатических условиях г. Ростова-на-Дону можно рекомендовать гелиодушевую установку с подогревом воды посредством тэнов от ВЭУ мощностью от 0,5 до 2,0 кВт, представленной на рис. 3.3.

Можно считать, что применение нетрадиционных источников теплоты (энергии солнца и ветра) в сочетании с автономными котельными обеспечит снижение расхода топлива и существенно сократит количество вредных выбросов в атмосферу.

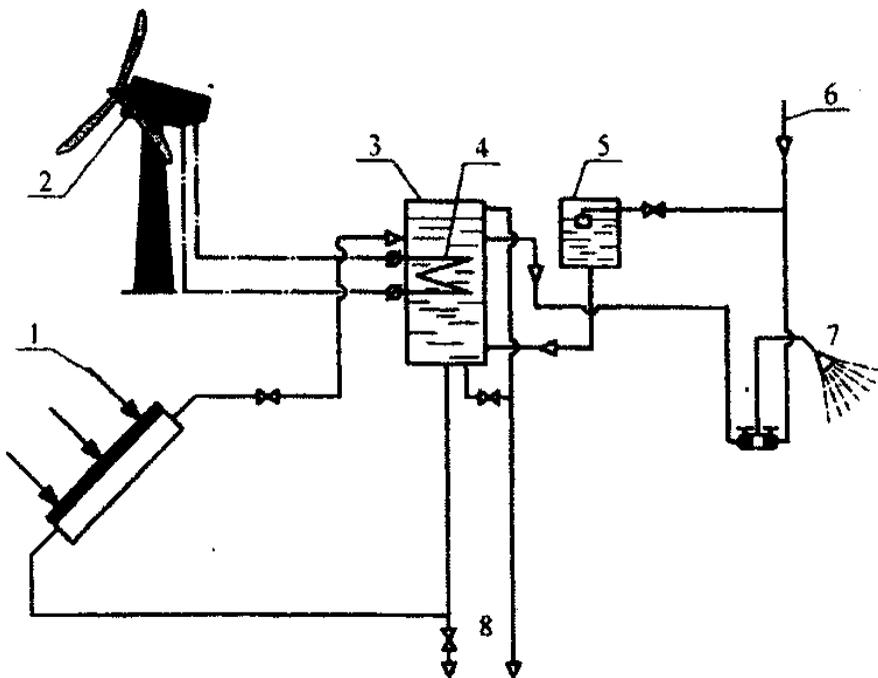


Рис. 3.3. Гелиодушевая установка с догревом воды посредством тэнов от ветроэнергетической установки:

- 1 – солнечный коллектор; 2 – ветрогенератор; 3 – БА;
- 4 – тэн; 5 – бакоч контроля уровня БА; 6 – холодная вода;
- 7 – душ; 8 – слив.

### Основные задачи и цели исследования комплексов с ВИЭ

Основной проблемой разработки комплексов с ВИЭ является исследование оптимального структурообразования и функционирования энергосистем различных объектов на основе альтернативных источников, интегрированных в едином малом энергоэкономичном комплексе.

Одной из главных задач в рамках указанной проблемы является создание для различных типов централизованных, полуавтономных и полностью автономных объектов. В качестве таких объектов могут рассматриваться жилые, промышленные и сельскохозяйственные здания, санатории, туристические комплексы и др.

Основные цели исследования в рамках указанной проблемы

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

можно свести к следующим:

- создание новых высокоэффективных технологий преобразования ВИЭ в тепловую и электрическую энергию. Разработка на их основе устройства и принципа действия новых типов трансформаторов (преобразователей) для гелиоустановок.
- создание структурно – функциональных моделей малых энергоэкономичных комплексов с ВИЭ для водо-, тепло- и электроснабжения различных объектов.
- энергетическая оптимизация, позволяющая свести к минимуму потери энергии в процессе её преобразования и аккумуляирования.
- экономическая оптимизация, позволяющая найти вариант с минимальными затратами на водо-, тепло- и электроснабжение.
- экологическая оптимизация, позволяющая свести к минимуму негативное влияние энергоустановок на окружающую среду.

## ГЛАВА 4. ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ.

### 4.1 Основные сведения.

Внедрению энергосберегающих теплонасосных систем теплоснабжения способствует целый ряд факторов:

- неуклонный рост тарифов на энергоносители;
- отсутствие резерва централизованных систем энерго-снабжения;
- возрастающая плата за подключение и выполнение технических условий;
- освоение строительством новых площадок, удалённых от централизованного энергоснабжения;
- стремление индивидуальных застройщиков к “энергетической независимости”.

**Тепловой насос (ТН)** — устройство для переноса [тепловой энергии](#) от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой. ТН позволяет получать тепло для ГВС, отопления, а также хладоснабжения [21].

#### **Принцип действия ТН** (рис.4.1).

Источником тепла может быть скалистая порода, земля, вода или, например, воздух. Охлажденный теплоноситель, проходя по трубопроводу, уложенному в землю (водоём), нагревается на несколько градусов. Внутри теплового насоса теплоноситель, проходя через теплообменник, называемый испарителем 1, отдает собранное из окружающей среды тепло во внутренний контур теплового насоса.

Внутренний контур теплового насоса заполнен хладагентом. Хладагент, имея очень низкую температуру кипения, проходя через испаритель, превращается из жидкого состояния в газообразное. Это происходит при низком давлении и температуре -5С.

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

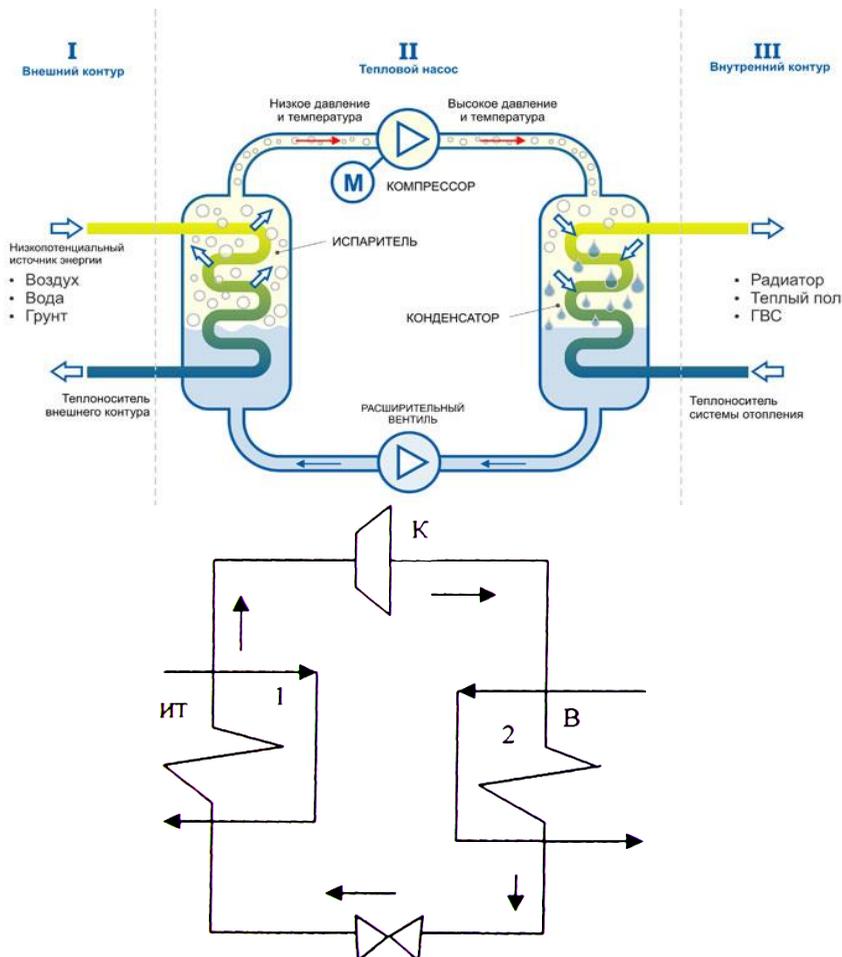


Рис.4.1 Блок-схема ТН:

1 – испаритель; 2 – конденсатор; ИТ – источник тепла;  
К – компрессор; В – конденсатор; Д – дроссель-клапан.

Из испарителя газообразный хладагент попадает в компрессор (К), где он сжимается до высокого давления и высокой температуры. Далее горячий газ поступает во второй теплообменник, конденсатор 2. В конденсаторе происходит теплообмен между горячим газом и теплоносителем из обратного трубопровода системы отопления дома. Хладагент отдает свое тепло в систему отопления, охлаждается и снова переходит в жидкое состо-

ание, а нагретый теплоноситель системы отопления поступает к отопительным приборам. После прохождения через конденсатор жидкий хладагент может быть еще более охлажден, а температура прямой воды системы отопления увеличена посредством дополнительно установленного нагревателя. Давление хладагента, тем не менее, все еще остается высоким. При прохождении хладагента через редукционный клапан (Д) давление понижается, хладагент попадает в испаритель, и цикл повторяется снова.

### **Хладагент.**

В качестве хладагента используется рабочее вещество, в результате кипения забирающее тепло у охлаждаемого объекта. В процессе сжатия хладагент конденсируется и передает свое тепло охлаждающей среде (воздуху или воде).

Фреон (в переводе с латинского значит холод) — это смесь этана и метана, в которых атомы хлора и фтора замещаются атомами водорода. Общеизвестно более 40 различных фреонов. Фреоны могут находиться в газообразном и жидком состоянии. Фреон — это жидкость или газ, без цвета и запаха, с низкой температурой кипения [22].

Применяют фреон в качестве хладагента благодаря его физическим свойствам — при испарении он поглощает тепло, а затем выделяет его при конденсации.

В климатическом и холодильном оборудовании фреон используется в качестве хладагента, им производят [заправку сплит-системы](#).

### **Коэффициент преобразования («отопительный коэффициент»).**

Для оценки эффективности работы реального теплового насоса, в заданном интервале температур можно использовать **коэффициент преобразования**, общепринятое обозначение которого COP (coefficient of preformance).

Значение COP определяется отношением мощности нагрева к мощности электрической потребляемой энергии. Таким образом, описание  $COP = 4$  означает, что тепловой насос вырабатывает в 4 раза больше тепловой энергии, чем потребляет электроэнергии.

$$COP = T_k / (T_k - T_n) = T_k / \Delta T \quad (4.1)$$

где  $T_k$  — температура теплоносителя, используемого в климатической системе здания, °К;

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

$T_{и}$  – температура источника энергии окружающей среды, °K;

$\Delta T$  – разность между температурой теплоносителя в климатической системе здания и температурой источника энергии, °K.

При очень низких температурах  $-20-25^{\circ}\text{C}$   $\text{COP}=1$ , или сколько затратили электрической энергии, столько и получили тепловой, как от обычного электрообогревателя.

Например, при разнице температур  $5^{\circ}\text{K}$ :

$$T_{и} = 0^{\circ}\text{C} = 273 \text{ K}; T_{к} = 50^{\circ}\text{C} = 323 \text{ K}$$
$$\text{COP} = T_{к} / ( T_{к} - T_{и} ) = 323 / ( 323 - 273 ) = 6,46$$

при разнице температур  $3^{\circ}\text{K}$ :

$$T_{и} = 0^{\circ}\text{C} = 273 \text{ K}; T_{к} = 30^{\circ}\text{C} = 303 \text{ K}$$
$$\text{COP} = T_{к} / ( T_{к} - T_{и} ) = 303 / ( 303 - 273 ) = 10,1$$

Зависимость значения коэффициента COP от наружной температуры наглядно отражено на графике рис.4.2.

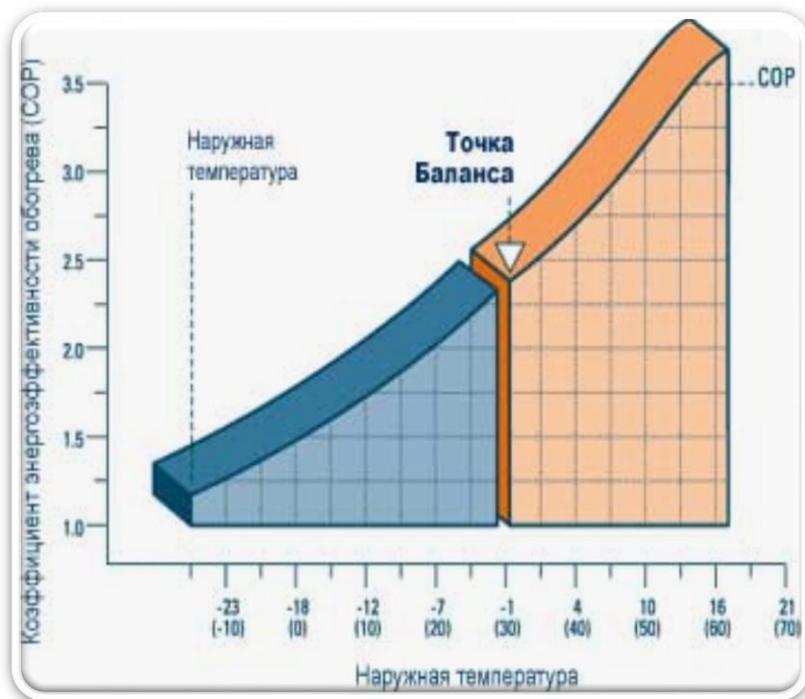


Рис.4.2 Зависимость значения коэффициента COP от наружной температуры

## 4.2 Классификация ТН.

Классификация ТН приведена на рис. 4.1.

**1. В зависимости от принципа работы ТН подразделяются на:**

- **компрессионные**, приводятся в действие с помощью механической энергии (электроэнергии);
- **абсорбционные**, могут также использовать тепло в качестве источника энергии (с помощью электроэнергии или топлива).

**2. В зависимости от источника отбора тепла тепловые насосы подразделяются на:**

- **геотермальные**, используют тепло земли, наземных либо подземных грунтовых вод:
  - а) замкнутого типа:

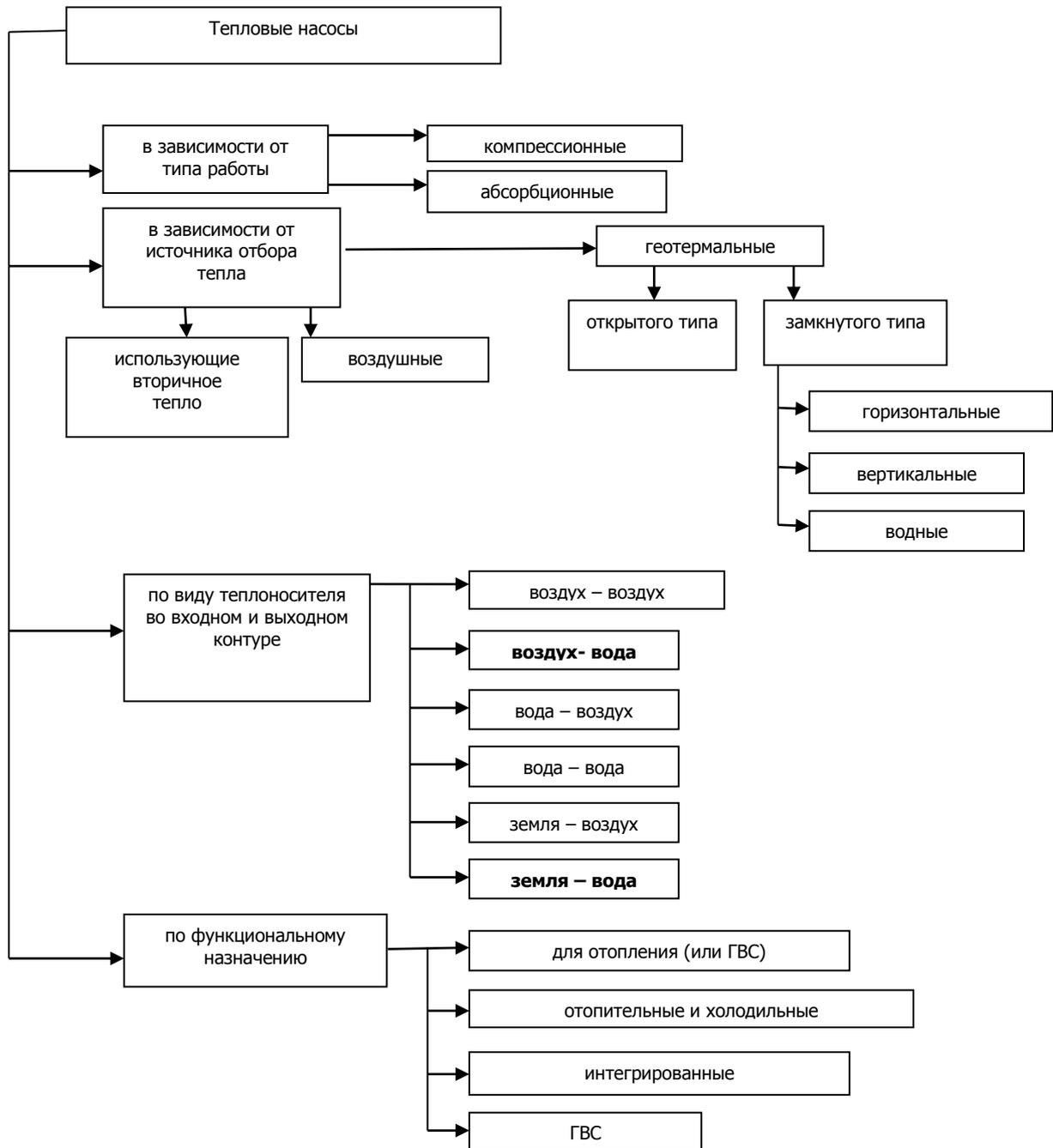


Рис.4.3 Классификация ТН



Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

- горизонтальные, в которых коллектор размещается в горизонтальных траншеях ниже глубины промерзания грунта;
- вертикальные, в которых коллектор размещается вертикально в скважины глубиной до 200 м;
- водные, в которых коллектор размещается в водоеме (озере, пруду, реке) ниже глубины промерзания.

б) открытого типа. Подобная система использует в качестве теплообменной жидкости воду, циркулирующую непосредственно через систему геотермального теплового насоса в рамках открытого цикла, то есть вода после прохождения по системе возвращается в землю.

- **воздушные**, в которых источником отбора тепла является воздух;
- **использующие вторичное тепло**. Подобный вариант является наиболее целесообразным для промышленных объектов, где есть потери («отбросы») тепла, которые требуют утилизации.

**3. По виду теплоносителя во входном и выходном контурах** ТН делят на шесть типов:

- "воздух—воздух";
- "воздух—вода";
- "вода —воздух";
- "вода—вода";
- "земля—воздух";
- "земля—вода".

Наибольшее распространение в наших широтах получило два вида тепловых насосов, а именно: "воздух—вода", "земля—вода".

**4. По функциональному назначению:**

- только **для отопления**, применяемые для обеспечения комфортной температуры в помещении и (или) приготовления воды **для системы горячего водоснабжения (ГВС)**;
- **отопительные и холодильные**, применяемые для кондиционирования помещений в течение всего года.
- **интегрированные системы** на основе тепловых насосов, обеспечивающие отопление помещений, охлаждение, приготовление воды для горячего водоснабжения и иногда утилизацию отводимого воздуха.
- предназначенные **исключительно для ГВС**, зачастую в качестве источника тепла используют воздух среды, но равным образом могут использовать и отводимый воздух.

**Источники тепла** бывают двух основных видов:

- **вторичные энергетические ресурсы**, т. е.

сбросная низкотемпературная теплота, образующаяся в здании сточные воды, вентиляционные выбросы и т. п.;

- **нетрадиционные ВИЭ** – теплота окружающего воздуха, грунтового массива, солнечная энергия и т. п.

**Требования, предъявляемые к источнику тепла:**

- должен давать стабильную высокую температуру в течение отопительного сезона;
- быть изобильным;
- не быть коррозионным и загрязняющим;
- иметь благоприятные теплофизические характеристики;
- не требовать существенных инвестиций и расходов по обслуживанию.

В большинстве случаев имеющийся источник тепла является ключевым фактором, определяющим эксплуатационные характеристики ТН.

В табл. 4.1 приведены температурные показатели, типичные для наиболее распространенных источников тепла. Наружный и отводимый воздух, почва и подпочвенная вода представляют источники тепла, широко используемые в небольших системах на базе тепловых насосов, тогда как морская, озерная и речная вода, геотермические источники и грунтовые воды применяются для систем большой мощности.

Таблица 4.1.

Температурный уровень, характерный для основных источников тепла, применяемых в системах на основе ТН в режиме отопления

Источник тепла	Температурный диапазон, °С
Наружный воздух	-10/+15
Отводимый воздух	15/25
Подпочвенная вода	4/10
Озерная вода	0/10
Речная вода	0/10
Морская вода	3/8
Грунт	0/10
Грунтовые воды	>10

В случае использования в качестве источника тепла атмосферного или вентиляционного воздуха, система отопления работает по схеме «воздух–вода». Насос может быть расположен внутри или снаружи помещения. Воздух подается в его теплооб-

менник с помощью вентилятора [23].

Если в качестве источника тепла используются грунтовые воды, то система работает по схеме «вода–вода». Вода подается из скважины с помощью насоса в теплообменник насоса, а после отбора тепла, сбрасывается либо в другую скважину, либо в водоем. В качестве промежуточного теплоносителя можно использовать антифриз или тосол. Если в качестве источника энергии выступает водоем, на его дно укладывается петля из металлопластиковой или пластиковой трубы. По трубопроводу циркулирует раствор гликоля (антифриз) или тосола который через теплообменник ТН передает тепло фреону.

При использовании в качестве источника тепла грунта, система работает по схеме «грунт-вода».

Возможны два варианта устройства коллектора – вертикальный и горизонтальный [24]. Вариант устройства горизонтального коллектора представлен на рис.4.4 – это грунтовые коллекторы и зонды.

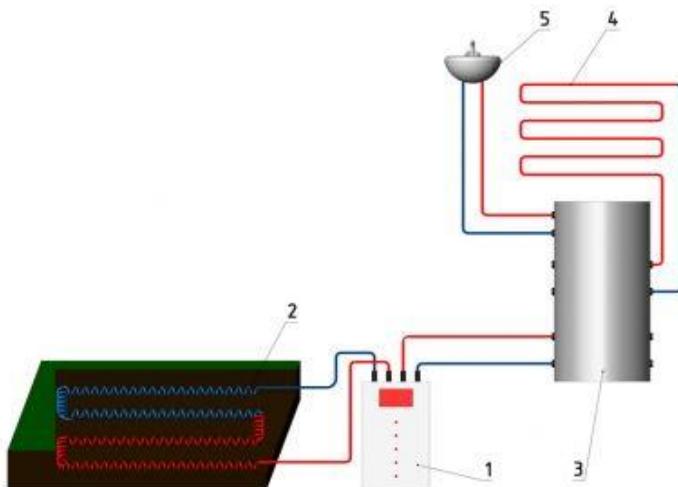


Рис.4.4. Грунтовый коллектор:

- 1 – ТН; 2 – трубопровод, уложенный в земле;  
3 – бойлер косвенного нагрева; 4 – система отопления «теплый пол»; 5 – контур подачи горячей воды.

Пластиковые трубы укладываются в грунт горизонтально на

глубину 1,2 -1,5 м. Теплоноситель качается циркуляционным насосом по пластиковым трубам, забирая при этом накопленное грунтом тепло. С помощью ТС утилизируется тепло на нужды (для отопления, ГВС) помещения.

Вертикально расположенные теплообменники называют грунтовыми зондами (рис.4.5). В районах с высокой плотностью населения и с очень маленькими земельными участками устанавливают преимущественно вертикальные грунтовые зонды на глубину 50 – 150 м.

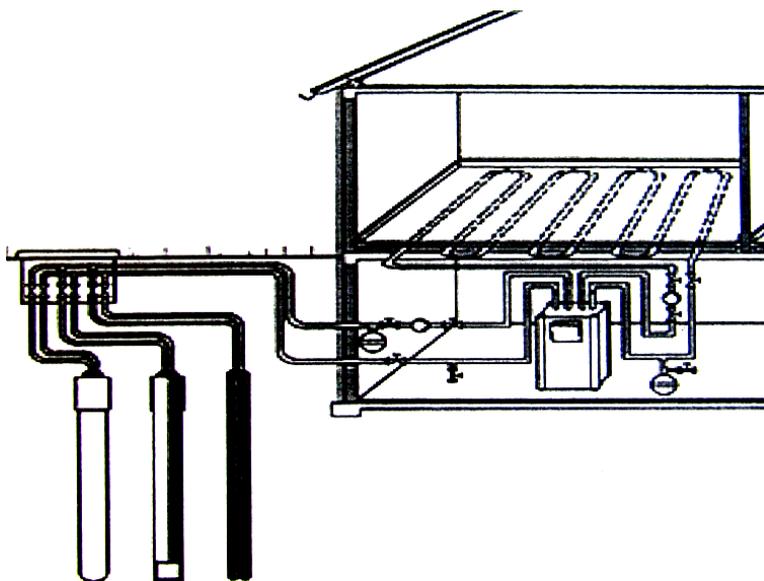


Рис.4.5. Грунтовые зонды

Зонды состоят из полиэтиленовой трубы. Как правило, устанавливаются четыре трубы (зонд в форме двойной U-образной трубы). Теплоноситель (рассол) по двум трубам течет из распределителя вниз, а по двум другим трубам возвращается вверх к распределителю. Другой вариант – коаксиальные трубы («труба в трубе») с внутренней пластиковой трубой для подачи и с внешней пластиковой трубой для возврата рассола [25].

#### **Ограничения внедрения тепловых насосов:**

1. Высокие удельные капитальные вложения (ТН зарубежного производства Германия, Австрия, США достаточно дороги, а

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

также их монтаж и наладка, сопровождающийся буровыми работами).

2. Ограничения по температуре на выходе из ТН. Максимальная температура, которую может обеспечить греющий контур геотермальных ТН – 55°C, у отдельных моделей – 60-65°C, что приводит к увеличению площади отопительных приборов. Это влечет дополнительные затраты.

3. Неоднородность теплового потенциала грунта в региональном разрезе. Потенциал грунта как источника тепла для южных регионов существенно выше, чем для северных. Так, температура грунта на глубине 50-100 м в условиях г. Пятигорска составляет 15-16°C, для г. Москвы 10-11 °С, а для г.Архангельска 4-5 °С. Чем выше температура грунта, тем выше коэффициент трансформации, тем меньше электроэнергии тратит ТН на выработку одного и того же количества тепла.

4. Учет фактора охлаждения грунта при эксплуатации ТН. Потребление тепловой энергии в течение каждого последующего отопительного сезона вызывает дальнейшее охлаждение грунта. При проектировании систем теплоснабжения необходим учет охлаждения грунта (на 1- 2° каждые пять лет), что делает ее еще более затратной [26].

## ГЛАВА 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ БИОМАССЫ

### 5.1. Общие сведения

Биоэнергетика – это наука, изучающая механизмы и закономерности преобразования энергии в процессах жизнедеятельности организмов, энергетические процессы в биосфере.

Под термином «биомасса» понимается органическое вещество растительного или животного происхождения, которое может быть использовано для получения энергии или технически удобных видов топлива путем термохимической (прямое сжигание, пиролиз, газификация) или биологической конверсии.

Биомасса делится на:

- первичную (растения, животные, микроорганизмы и т.д.);
- вторичную (отходы при переработке первичной биомассы и продукты жизнедеятельности человека и животных [27]).

Интерес к широкому использованию биомассы определен следующими основными обстоятельствами:

- экологическими, связанными с необходимостью решения, в том числе, глобальных климатологических задач;
- необходимостью снижения потребления невозобновляемых источников энергии (газ, нефть, уголь), активно истощаемых в обозримом будущем, и заменой их возобновляемыми источниками.

Масштабное использование природных энергетических ресурсов для производства энергии на тепловых электрических станциях приводит к значительному загрязнению природной окружающей среды такими вредными выбросами в атмосферу, как диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), оксиды серы ( $\text{SO}_2$  и др.), азота ( $\text{NO}_x$ ), а также твердой пыли-взвеси.

Использование биомассы является одним из радикальных путей решения проблемы снижения выбросов парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ) в топливоиспользующих установках, а также снижения выбросов других вредных ингредиентов:

- деревья и растения, составляющие основной состав биомассы, сами поглощают выбросы  $\text{CO}_2$ , т.е. в них происходит рециркуляция: сколько  $\text{CO}_2$  поглощено, столько и выделяется при сжигании и при этом не увеличивается его содержание в атмосфере;
- в биомассе практически нет серы, малое содержание азота и золы.

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

Кроме того, эффективное использование биомассы как энергетического топлива снижает негативное ее влияние на окружающую среду от гниения, сжигания в случайных установках и условиях с целью очистки от них и др.

Другим стимулом использования биомассы в энергетике является вовлечение ее, как источника химической энергии, в топливно-энергетический баланс в качестве возобновляемого источника в структурно-энергетическом балансе (наряду с механической энергией гидро- и ветроэнергетики, тепловой энергией градиента температур и геотермальных установок).

В биосфере содержится 800 млрд. т биомассы. 90 % биомассы приходится на древесину. Из них 200 млрд. т ежегодно возобновляется, что составляет 100 млрд. т нефти. Накопленная в биомассе энергия эквивалентна по величине запасам органического топлива.

Источниками биомассы являются отходы животноводства, растительные остатки, осадки сточных вод, органические отходы промышленности (пищевой, мясомолочной, лесной, деревообрабатывающей, гидролизной, целлюлозно-бумажной), а также твердые отходы коммунального хозяйства [28].

В России ежегодное количество органических отходов по разным отраслям экономики составляет 390 млн. т. Сельскохозяйственное производство дает 250 млн. т. Из них 150 млн. т приходятся на животноводство и птицеводство, 100 млн. т – на растениеводство. Лесо-деревопереработка дают 700 млн. т, твердые бытовые отходы городов – 60 млн. т. Коммунальные стоки – 10 млн. т (все приведенные значения даются на абсолютно сухое вещество).

**Преимущества при использовании энергии биомассы:**

- повсеместная доступность, даже в отдаленных областях: топливо из биомассы доступно везде, где растут деревья и сельскохозяйственные культуры, а также перерабатываются продовольственные продукты и волокна;
- ресурс, используемый при необходимости: биомасса представляет собой подлежащий хранению источник топливной энергии, который в любой момент можно использовать в целях энергоснабжения, в отличие от других возобновляемых источников энергии, характеризующихся нерегулярностью и / или сезонностью;
- универсальность: биомасса является потенциальным

источником всех основных энергоносителей — жидкости, газа, тепла и электроэнергии;

- отсутствие влияния на климат: при условии экологически рационального получения и сгорания, энергия биомассы не вызывает климатических изменений и парниковых газов;

- дополнительная совокупная выгода для жителей сельской местности: совокупная выгода энергетических систем на основе биомассы сохраняется на местном уровне и может значительно способствовать развитию сельских районов посредством создания местных источников дохода. Энергия биомассы содействует получению дохода в цепочке поставок и при использовании тепловой и электрической энергии, что является существенным преимуществом её использования в качестве инструмента борьбы с низким уровнем жизни.

#### **Недостатки при использовании энергии биомассы:**

- энергия биомассы — наиболее сложный из ВИЭ: организация надежных, стабильных и доступных поставок топлива в достаточном количестве и надлежащего качества может быть сложной задачей;

- топливо, получаемое из биомассы, нередко требует значительных земельных и трудовых ресурсов, существенно зависит от стабильности цен, также разработчики проекта нередко сталкиваются с огромным количеством альтернативных технологий.

Энергию биомассы можно преобразовать в удобные виды топлива или энергии различными способами [29]:

- получение растительных углеводов (растительные масла, жирные высокомолекулярные кислоты и их эфиры, предельные и непредельные углеводы и т.д.);

- термическая конверсия биомассы (твердой до 60 %) в топливо (прямое сжигание, пиролиз, газификация, сжижение, фест-пиролиз);

- биотехнологическая конверсия биомассы (при влажности от 75 % и выше) в топливо (низко атомные спирты, жирные кислоты, биогаз).

На современном этапе экономического развития России использование биомассы ведется, в основном, по двум последним направлениям [30].

## 5.2 Непосредственное сжижение биомассы

Сжижение биомассы (карбокситолиз) – процесс производства жидкого топлива путем взаимодействия измельченной биомассы в жидкой среде с монооксидом углерода в присутствии щелочного катализатора (рис.5.1). Реакция протекает при высоком давлении (150-250 атм) и повышенной температуре (300-350°C) в течение 10-30 мин. Такой переработке может быть подвергнута практически любая предварительно осушенная, измельченная и суспендированная биомасса. Начальный этап разработки процесса состоял в исследовании взаимодействия угля с монооксидом углерода и водяным паром.

Результаты проведенных исследований показали, что продуктом сжижения биомассы является вязкая жидкость, температура кипения которой лежит в пределах 200-350°C. Жидкий продукт может иметь довольно низкую вязкость (100 сП) и при комнатной температуре полимеризоваться до полутвердого состояния. Все это свидетельствует о том, что получаемая жидкость может быть использована в качестве промышленного топлива или компоненты топлива. Однако из-за низкой испаряемости продукт сжижения биомассы не может использоваться в качестве топлива для транспортных средств. Поскольку даже в твердом состоянии продукт практически не содержит серы, он может применяться вместо угля, причем в этом случае исключаются проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды. Энергоемкость продукта (твердого или жидкого) приблизительно в 10 раз больше энергоемкости исходного древесного сырья.

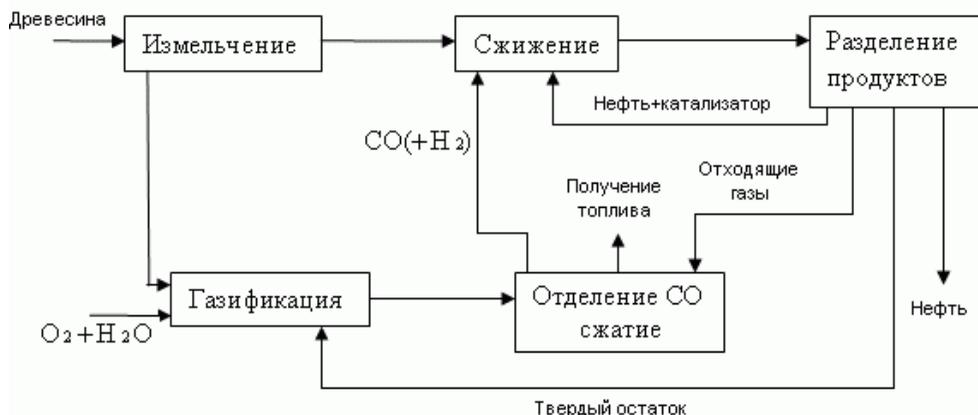


Рис.5.1. Схема сжижения биотоплива

### Характеристика биогаза и способы его получения.

Биогаз состоит из метана (55 – 85% –  $\text{CH}_4$ ) и углекислого газа (15 – 45% –  $\text{CO}_2$ ), а также могут быть следы сероводорода. Его теплота сгорания составляет от 21 до 27,2 МДж/м<sup>3</sup>. При переработке 1 тонны навоза крупного рогатого скота и свиней (с влажностью 85%) можно получить от 45 до 60 м<sup>3</sup> биогаза, 1 тонны куриного помета (с влажностью 75%) реально получить до 100 м<sup>3</sup> биогаза. По теплоте сгорания 1 м<sup>3</sup> биогаза эквивалентен: 0,8 м<sup>3</sup> природного газа, 0,7 кг мазута или 1,5 кг дров.

Этот газ может использоваться как обычный природный газ для технологических целей, обогрева, выработки электроэнергии. Биогаз, как и природный газ, относится к наиболее чистым видам топлива.

Получение биогаза из органических отходов имеет следующие особенности:

- осуществляется санитарная обработка сточных вод (особенно животноводческих и коммунально – бытовых), содержание органических веществ снижается до 10 раз;

- анаэробная переработка отходов животноводства, растениеводства и активного ила приводит к минерализации основных компонентов удобрений (азота и фосфора) и их сохранению (в отличие от традиционных способов приготовления органических удобрений методами компостирования, при которых теряется до 40% азота);

- при метановом брожении высокий КПД превращения энергии органических веществ в биогаз (80–90%);

– биогаз с высокой эффективностью используется для получения тепловой и электрической энергии, а также для заправки автомобилей.

Технологическая схема получения биогаза из отходов животноводства показана на рис. 5.2.

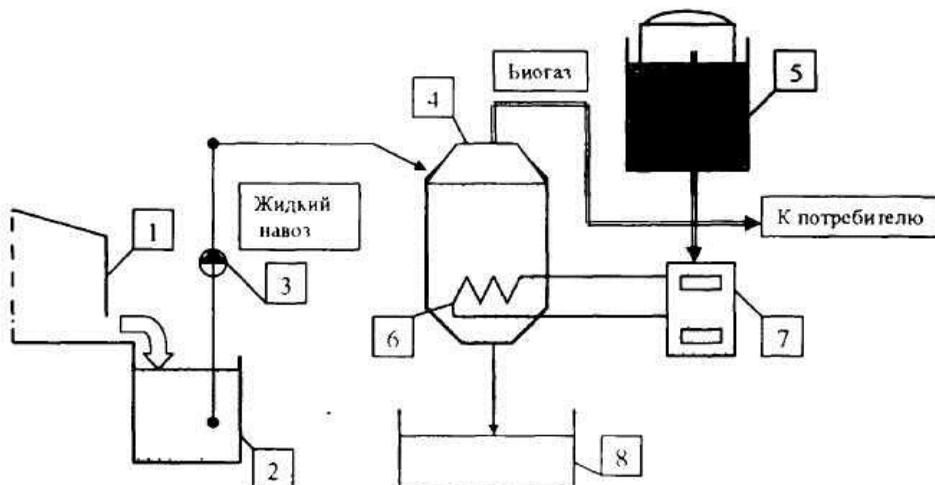


Рис. 5.2. Технологическая схема получения биогаза:

- 1 – ферма; 2 – резервуар для хранения навоза; 3 – насос;  
4 – метантенк; 5 – газгольдер; 6 – теплообменник; 7 – котел;  
8 – хранилище удобрения.

### Принцип работы биогазовой установки.

Биомасса (отходы или зеленая масса) периодически подаются с помощью насосной станции 3 или загрузчика в реактор (метантенк 4). Реактор представляет собой подогреваемый и утепленный резервуар, оборудованный миксерами. Стройматериалом для промышленного резервуара чаще всего служит железобетон или сталь с покрытием. В малых установках иногда используются композиционные материалы. В реакторе живут полезные бактерии, питающиеся биомассой. Продуктом жизнедеятельности бактерий является биогаз. Для поддержания жизни бактерий

требуется подача корма, подогрев до 35 – 38°C и периодическое перемешивание. Образующийся биогаз скапливается в хранилище – газгольдере 5, затем проходит систему очистки и подается к потребителям (котел 7 или электрогенератор). Реактор работает без доступа воздуха, герметичен и неопасен.

Состав и свойства биотоплива сведены в табл.1.

Таблица 1

Состав и свойства сжиженной нефти (биотопливо)

Параметр	Значение
Углерод	76,1%
Водород	7,3%
Кислород	16,6
Плотность г/см <sup>3</sup>	1,1
Теплотворная способность, ГДж/т	31,4

В первых работах по сжижению биомассы использовались данные о сжижении угля. В США такие работы проводились в Питсбургском исследовательском энергетическом центре. Полученные данные позволили сделать вывод о том, что с увеличением парциального давления СО интенсифицируется превращение целлюлозы и увеличивается выход топливного продукта. Первоначально опыты проводились в автоклавах периодического, а затем и непрерывного действия в лабораторном масштабе. Были изучены свойства суспензии, состоящей из топливной жидкости и биомассы. Оказалось, что для обеспечения непрерывной перекачиваемости содержание измельченной биомассы в топливной жидкости не должно превышать 30%. Дополнительные работы, проводившиеся под эгидой Управления по охране окружающей среды, показали, что водород в этом процессе может быть более эффективным восстановителем, чем СО.

### 5.3 Термохимическая переработка биомассы

Одним из основных направлений утилизации древесных отходов является их использование для получения тепловой и электрической энергии. Основными технологиями получения энергии из древесных отходов являются: сжигание, быстрый пиролиз и газификация.

#### Сжигание

Существует несколько методов сжигания древесных отходов:

– прямое сжигание, которое осуществляется в топках с горизонтальной, конусообразной, наклонной или подвижной колосниковой решеткой. Этот метод можно использовать в водогрейных котлах мощностью менее 20 МВт. Можно сжигать кусковые и длинномерные отходы, щепу, кору, опилки, топливные брикеты, гранулы и т.п. Для выработки электроэнергии отходы деревообработки сжигают в паровом котле с последующим использованием пара в паровой турбине. Эта технология для мини – ТЭЦ мощностью 600...1000 кВт имеет низкий электрический КПД порядка 8...13 %.

– сжигание в кипящем (циркулирующем) слое. Сжигание в кипящем слое более эффективно за счет почти 100 % сгорания топлива. Измельченное древесное топливо подается в кипящий слой, который создается продуванием воздуха через слой инертного материала, например, песка. В зависимости от скорости продувки частицы инертного материала остаются в кипящем слое или выносятся из слоя вместе с продуктами горения. Эти частицы улавливаются циклонами и снова возвращаются в кипящий слой.

Метод сжигания в кипящем слое можно использовать в котельных и ТЭЦ в диапазоне мощностей от 5 до 600 МВт. Достоинством данного метода является возможность сжигания различных видов топлива.

– газификация (сжигание во вторичной камере сгорания). Сжигание газов во вторичной камере сгорания (газогенераторная топка) является двухэтапным процессом. Сначала топливо подается шнековым питателем на наклонную решетку первичной камеры (предтопку). Там оно нагревается до температуры при которой идет процесс газификации. Полученный газ сгорает во вторичной камере практически без остатка. Продукты сгорания используются для получения горячей воды или пара, который можно использовать для получения электроэнергии. Такой метод

можно применять в диапазоне мощностей от 150 кВт до 30 МВт. Недостаток метода – высокая стоимость.

### **Быстрый пиролиз**

Быстрый пиролиз – это процесс, при котором сухие (<10 % влажности), измельченные в порошок древесные отходы, в том числе опилки, кора и т.д., быстро нагреваются в кипящем слое инертного материала внутри реактора до температуры 450...500 °С без воздуха. Продуктами пиролиза являются частицы древесного угля, неконденсирующийся газ, конденсирующие пары и аэрозоли. Частицы древесного угля отделяются в циклоне, а летучие вещества подвергаются быстрому охлаждению. В результате образуются жидкое синтетическое топливо (пиротопливо), которое поступает в накопительный резервуар.

Пиролизный газ сжигается в горелке реактора. Но этого тепла недостаточно для проведения процесса пиролиза. Требуется дополнительный источник тепла, например, природный газ.

Основной продукт пиролиза – пиротопливо – имеет теплоту сгорания, составляющую примерно 55 % от теплоты сгорания дизельного топлива. Его можно использовать в газотурбинных установках или дизельных двигателях.

### **Газификация**

Газификация – это процесс высокотемпературного превращения биомассы в генераторный газ в специальных реакторах (газогенераторах) с ограниченной подачей воздуха. Генераторный газ имеет теплоту сгорания до 4,5...6,0 МДж/м<sup>3</sup> и состоит из горючих газов (CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>), инертных газов (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>), паров воды, твердых примесей и пиролизных смол. Эффективность газификации достигает 85...90 %. Газификация является более эффективным и чистым процессом, чем сжигание [31].

Существуют различные типы газогенераторов: с восходящим потоком газа (прямой процесс), с нисходящим потоком газа (обращенный процесс), с циркулирующим кипящим слоем.

Применение технологии обращенного процесса позволяет на 20 % снизить металлоемкость теплоэнергетических установок и в 8...10 раз уменьшить содержание смол в генераторном газе. Такой газ при минимальной очистке можно использовать в дизельных двигателях. При переходе на генераторный газ мощность двигателя практически не меняется, но существенно улучшаются экологические показатели и на 40...50 % повышается ресурс двигателей. Генераторный газ можно также использовать в качестве

топлива в котельных и газотурбинных установках.

За последние годы в России разработаны газогенераторы с тепловой мощностью 100, 200, 600, 3000 и 5000 кВт.

В этих газогенераторах в качестве сырья для газификации можно использовать любые органические отходы: древесину, щепу, кору, сельскохозяйственные, коммунальные и бытовые отходы, 8,5 м<sup>3</sup> получаемого генераторного газа эквивалентны 1 кг мазута.

Также разработана газогенераторная станция тепло- и электроснабжения тепловой мощностью 600 кВт. Она включает в себя слоевой газогенератор обращенного процесса, систему очистки генераторного газа, водогрейные котел и дизель – генератор мощностью 300 кВт. Эта станция предназначена для автономного тепло- и электроснабжения 200-квартирного дома. Сырьем для газогенератора могут служить все виды органических отходов имеющую влажность не более 60 %. Коэффициент использования теплоты генераторного газа при комбинированной выработке тепловой и электрической энергии составляет 80...84 %.

Такие станции можно использовать для автономного энергоснабжения в любых районах России, имеющих органическое сырье. Это, прежде всего, районы Сибири, Крайнего Севера, а также большинство сельских районов, которые располагают большим количеством отходов лесопроизводства и растениеводства.

## 5.4 Метановые сбраживания биомассы.

Метановое «брожение», или биометаногенез – давно известный процесс превращения биомассы в энергию.

Этот процесс был открыт в 1776 г. Вольтой, который установил наличие метана в болотном газе. После ряда проб, он обнаружил что биогаз, получающийся в ходе этого процесса, представляет собой смесь из 65% метана, 30% углекислого газа, 1% сероводорода (H<sub>2</sub>S) и незначительных количеств азота, кислорода, водорода и закиси углерода. Так же он заметил, что биогаз при горении причиняет гораздо меньше неудобств людям по сравнению со сгоранием дров, навоза жвачных животных или кухонных отходов.

Биометаногенез осуществляется в три этапа:

- 1) Растворение и гидролиз органических соединений;
- 2) Ацидогенез;
- 3) Метаногенез.

В процессе биометаногенеза участвуют три группы бактерий. Первая группа бактерий превращают сложные органические субстраты в масляную, молочную и пропионовую кислоты. Вторая группа превращают эти органические кислоты в уксусную кислоту, водород и углекислый газ, а затем третья группа метанообразующие бактерии восстанавливают углекислый газ в метан с поглощением водорода.

Для метанобактерий характерна способность к росту в присутствии водорода и углекислого газа, а также высокая чувствительность к кислороду.

Происходит метановое «брожение» в метантенках. Метантенк представляет собой железобетонный резервуар цилиндрической формы с коническим днищем, который служит для сбраживания осадка (рис. 5.3). В метантенке для ускорения процессов брожения используют подогрев осадка и его перемешивание. Подогревают осадок до температуры 33 или 53 °С острым паром, подаваемым в метантенк. Осадок, так же можно подогревать в теплообменных аппаратах вне метантенка. Осадок перемешивают при помощи насосов, забирающих его из нижней части камеры и подающих в верхнюю часть, либо гидроэлеваторами с насосами или специальными мешалками. В метантенки подается смесь из сырого осадка из первичных отстойников и уплотненного избыточного активного ила из вторичных отстойников. Нормальные условия для брожения создаются в щелочной среде. Минерализация органических веществ осадка и ила в процессе брожения сопровождается выделением продуктов распада в газ и в иловую воду. Ход распада органических веществ зависит в основном от дозы загрузки по объему и продолжительности сбраживания. Доза загрузки — один из важнейших технологических параметров, определяющих степень распада органических веществ в метантенке. Она выражается в процентах и показывает, какую часть объема метантенков составляет суточный объем загружаемого осадка. Продолжительность сбраживания, зависит от дозы загрузки. При дозе загрузки 8% продолжительность сбраживания составляет 13,5 сут.

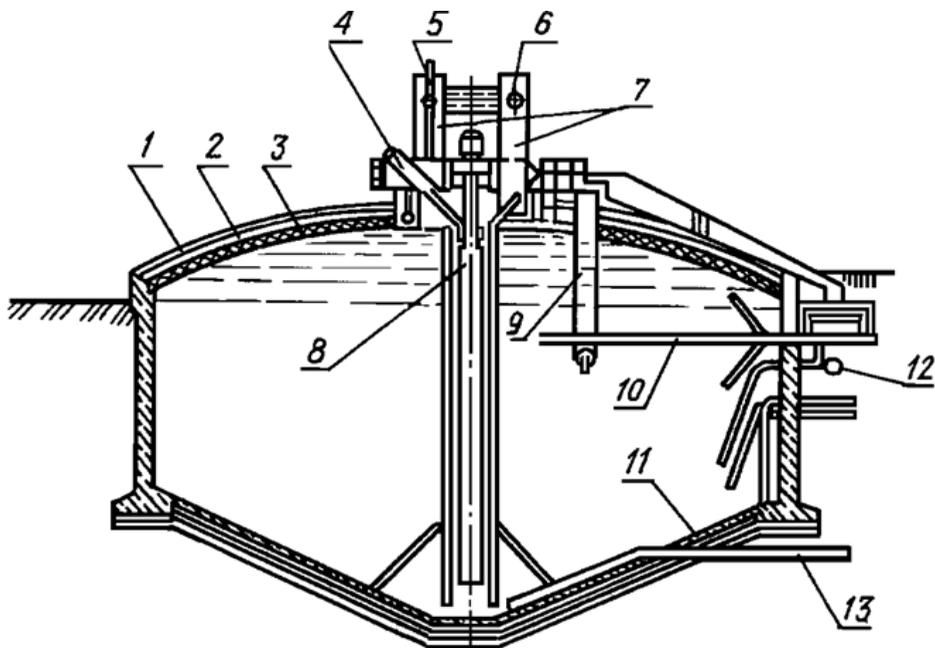


Рис.5.3. Схема заглубленного односекционного метантенка: 1 – мягкая кровля; 2 – кирпич; 3 – теплоизоляция; 4 – смотровой люк; 5, 9 – трубы для выпуска газа в атмосферу, переливания; 6 – газопровод для газового колпака; 7 – газовые колпаки; 8 – пропеллерная мешалка; 10, 13 – трубопроводы для загрузки сырого осадка, для опорожнения метантенка; 11 – днище метантенка; 12 – паровой инжектор для подогрева метантенков.

Метановое «брожение», помимо метантенков может происходить в водонепроницаемых цилиндрических цистернах (дайджестерах), которые имеют боковое отверстие, через него вводится ферментируемый материал. Над ним находится цилиндрический контейнер, его используют для сбора газа, препятствует прониканию внутрь воздуха, так как этот процесс проходит в анаэробных условиях. В газовом куполе есть трубка, которая отводит биогаз [32].

Полученную смесь сбраживаемых материалов обычно засевают ацетогенными и метаногенными бактериями. Низкий pH подавляет рост метаногенных бактерий и снижает выход биогаза. Чтобы не происходили закисления, используют известь. Условия для «переваривания» должны быть оптимальными, при pH 6,0-

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

0,8, этот показатель является нейтральным. Температура процессов зависит от микроорганизмов (30-40° С или 50-60° С). Нежелательны резкие изменения температуры.

Для метанового «брожения», также подходят отходы пищевой промышленности и сельскохозяйственного производства, так как они содержат высокое содержание углерода. Суспензию сбраживаемых веществ желательно перемешивать, чтобы избежать расслаивания. Твердый материал необходимо раздробить, так как крупные комки мешают образованию метана. Биогаз состоит из 62% метана и 38% углекислого газа. Отходы от переработки содержат 12% твердого вещества, который идет на корм рыбам. Это помогает экономить половину гранулированных кормов из злаков. Так же эксперименты показали, что отходы богаты минеральными солями, белками и витаминами и их можно использовать в качестве корма для скота.

Производство биогаза путем метанового «брожения» отходов — одно из возможных решений энергетической проблемы в большинстве сельских районов [33].

## ГЛАВА 6. КОГЕНЕРАЦИЯ

Проблема сокращения потерь при производстве, транспортировке и потреблении тепловой и электрической энергии с каждым годом становится все более актуальной в связи с сокращением запасов ископаемого органического топлива и, как следствие, с его постоянным удорожанием. При этом в среднем по России потери в тепловых сетях достигают 20-25%.

Альтернативным вариантом технических решений генерации может служить применение автономных источников теплоты и электроэнергии, работающих по принципу когенерации, т.е. мини-ТЭЦ [34].

**Когенерация** – способ производства энергии, при котором из одного первичного источника (топлива) на выходе энергоустановки получают два или несколько видов полезной энергии (производство тепла и электричества) рис. 6.1 [23].



Рис. 6.1. К определению когенерации.

Централизованное тепло- и энергоснабжение породило целый ряд проблем, основные из которых можно сформулировать следующим образом.

Первая проблема – это неэффективный и устаревший процесс централизованного производства самой энергии усложняется проблемами ее транспортировки, что приводит к ее значительному удорожанию.

Второй острой проблемой является получение необходимого или дополнительного количества энергии по причине

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

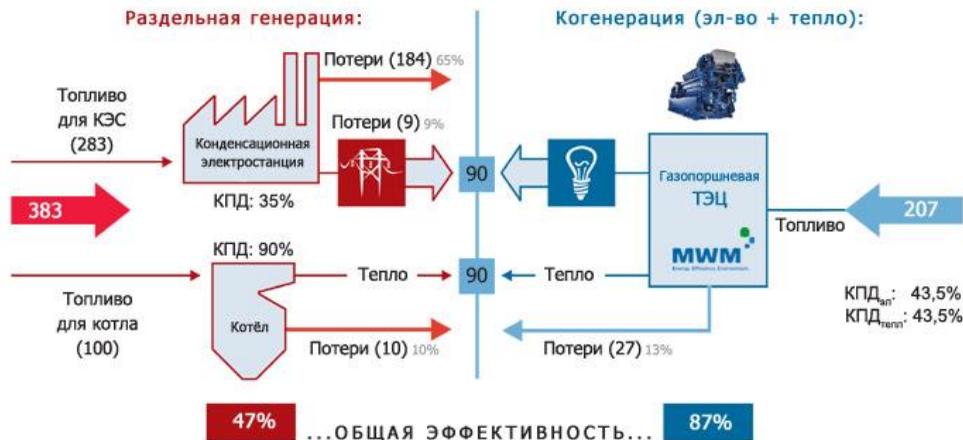
полного отсутствия или загруженности уже существующих транспортных линий (например, при запуске новых объектов или увеличении потребления при наращивании производства).

Третьим негативным фактором является ненадежность исчерпавших свои расчетные ресурсы энергетических центров и передающих сетей в сочетании с непредсказуемой тарифной политикой.

Главным преимуществом технологии когенерации является эффективность топливоиспользования, недостижимая при раздельном производстве тепловой и электрической энергии. КПД электростанций составляет от 30 до 50% (остальная часть энергии первичного топлива теряется в виде неиспользуемого тепла). КПД котельной в среднем составляет около 80%. Таким образом, полный КПД системы с раздельным производством тепла и электричества находится в пределах 55–65%. При этом для когенерационных установок (их также называют мини-ТЭЦ или когенераторами), где наряду с генерацией электрической энергии осуществляется утилизация тепла, полный КПД может достигать 90% (рис. 6.2) [34].

Соотношение теплового и электрического КПД когенерационных установок составляет 1:1,2–1,6. У современных когенерационных установок на базе газопоршневых двигателей, при полной реализации, выработанной электрической и тепловой энергии, коэффициент использования теплоты сгорания топлива доходит до 85...90% и только 10% теряются. Экономия топлива при выработке энергии в когенерационном цикле может достигать до 40% по сравнению с раздельным производством того же количества электроэнергии.

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии



\* данные приведены в условных единицах топлива  
Рис. 6.2. Сравнение параметров когенерационной и традиционной генерации энергии

Сущность метода заключается в том, что продукты сгорания природного газа применяются в качестве теплоносителя в установках различного температурного уровня: высокотемпературных, средне- и низкотемпературных. Топливо при этом сжигается не в нескольких установках, а лишь в одной, работающей при максимальной температуре. Отводимые из высокотемпературного агрегата продукты сгорания последовательно проходят через другие теплоиспользующие установки, работающие при более низких температурах. Одновременно уменьшается объем продуктов сгорания, выбрасываемых в атмосферу, и снижаются «термическое» загрязнение воздушного бассейна и количество вредных выбросов.

Основными компонентами любой системы когенерации являются:

- первичный двигатель;
- электрогенератор;
- система утилизации тепла.

### Классификация когенерационных систем

Классификационные признаки когенерационных установок представлены на рис.6.3 [34].

#### 1. Классификация по типу первичного двигателя.

Тип первичного двигателя — базовый признак, по которому классифицируются системы когенерации. В настоящее время распространены следующие виды когенерационных установок:

- газотурбинные;
- газопоршневые;
- микротурбинные.

В газотурбинных мини-ТЭЦ роль первичного двигателя (привода электрогенератора) выполняет газовая турбина (ГТ). Установки данного типа используются преимущественно для обеспечения энергетических нужд крупных промышленных потребителей; их применение целесообразно в диапазоне мощностей от 6 МВт и выше.

**Недостатками** малых ТЭЦ с газотурбинными двигателями являются:

- довольно низкий электрический КПД (около 30%) и высокий расход топлива;
- дополнительные расходы связаны с необходимостью подавать топливный газ под высоким давлением (для газотурбинной электростанции мощностью 2,5 МВт оно составляет 10–12 кгс/см<sup>2</sup>; для более мощных установок этот показатель выше);
- значительны эксплуатационные затраты (техническое обслуживание).

**К достоинствам** данного оборудования следует отнести:

- способность работать на различном топливе, в том числе на мазуте;
- относительно небольшой удельный вес;
- продолжительность периода, на протяжении которого допускается эксплуатировать данные машины без остановки (в среднем 1 год);
- высокий потенциал утилизируемого тепла.

Благодаря последнему свойству ГТУ предпочтительнее там, где на выходе требуется пар.

К разновидности газотурбинных установок следует отнести паровые турбины, утилизирующие пар от уже действующих котлов. Обычно выходное давление пара значительно выше, чем это необходимо для промышленного потребителя, и его снижают дросселями, при этом на тонне пара теряется около 50 кВт энергии.

Установив параллельно дроссельному устройству турбину с генератором, можно получать электроэнергию. В других случаях может оказаться целесообразным специально установить паровой

котел и турбину. В частности, это позволяет использовать для когенерации альтернативное топливо типа древесных отходов. Этим не исчерпываются возможные варианты. Например, для получения электрической энергии с наиболее эффективным использованием топлива разработаны комбинированные парогазотурбинные установки. В них тепло выхлопных газов газотурбинного двигателя утилизируется в паровом котле, а пар приводит в движение отдельно стоящую турбину с собственным электрогенератором.

Эффективными мощностями, на которых имеет смысл использовать паровые турбины, является диапазон 5–25 МВт. В нем преимущества паровой турбины — высокая производительность, гибкость по отношению к типу сжигаемого топлива, длительный срок службы, — проявляются наиболее ярко. Впрочем, недостатков тоже хватает: длительный период запуска, большие начальные капиталовложения, дисбаланс производства тепла и электроэнергии, высокий порог эффективного применения.

Рынок генерации малых и средних мощностей практически заполнен когенераторами двух типов. В газопоршневых мини-ТЭЦ приводом электрогенератора служит поршневой ДВС на газообразном топливе. На сегодняшний день этот тип установок является наиболее распространенным.

Основной вид топлива для газопоршневых установок — природный газ. Также в газовых ДВС могут использоваться альтернативные виды газообразного топлива, как высококалорийные (пропан-бутановые смеси), так и газы с низкой и средней теплотворной способностью (древесный, пиролизный, коксовый, попутный нефтяной, биогаз и т. д.). Многие виды газопоршневых когенерационных установок допускают перенастройку с одного вида газового топлива на другой.

Нижний предел допустимых нагрузок для газопоршневых установок составляет 30–50% от номинальной мощности, причем снижение нагрузки в этих пределах почти не влияет на электрический КПД. Ресурс газопоршневых мини-ТЭЦ составляет 200–250 тыс. моточасов. Газопоршневые установки характеризуются высокой эффективностью топливоиспользования (общий КПД может достигать 90%).

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

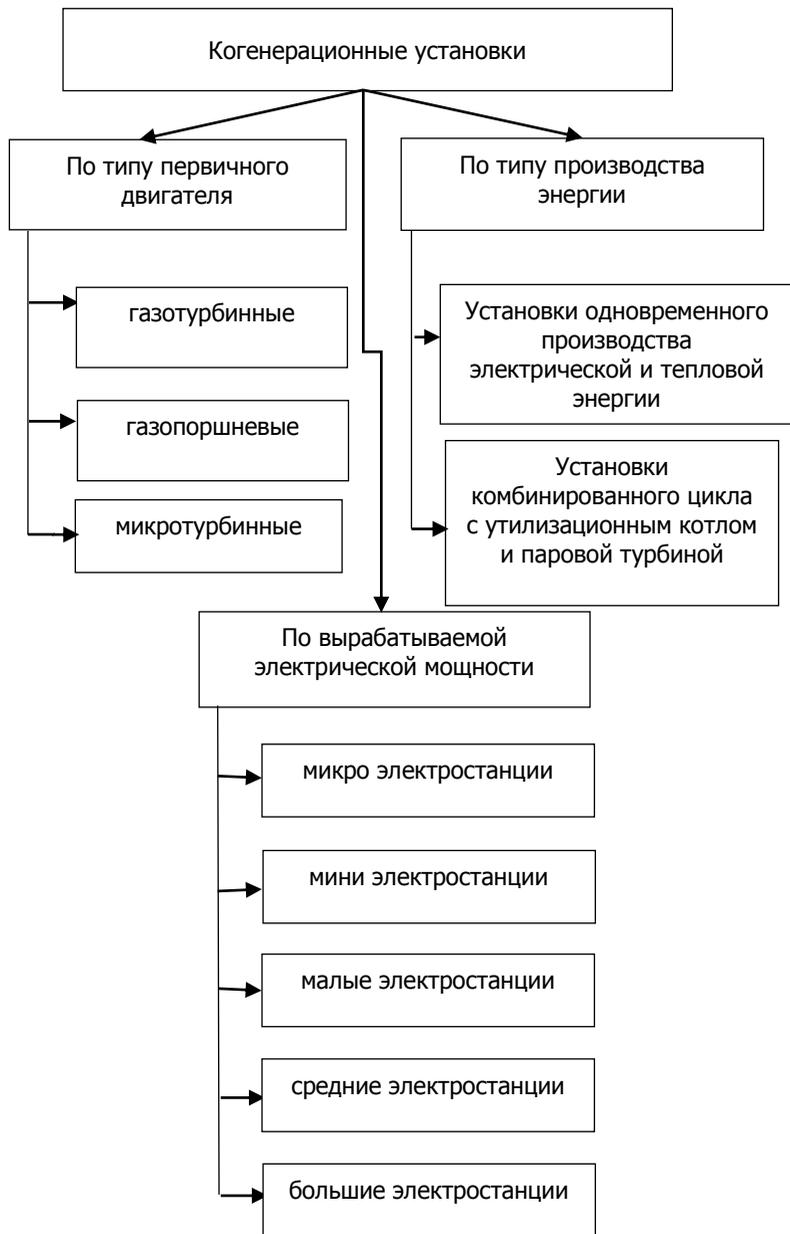


Рис.6.3. Классификация когенерационных установок.

Микротурбинные когенераторы представляют собой новей-

ший тип когенерационных установок, в которых выработка тепла и электроэнергии осуществляется газотурбинным генератором малой мощности (25–300 кВт). Единственная движущаяся деталь микротурбинной установки — высокоскоростной вращающийся вал, на котором размещены турбина, электрогенератор и компрессор. Используемый принцип компоновки обеспечивает высокую эксплуатационную надежность и компактность турбинных генераторов.

Основное **преимущество** микротурбинных когенерационных установок — возможность работы с переменной нагрузкой в диапазоне от 0 до 100% без сокращения ресурса. Также микротурбинные установки характеризуются низким уровнем шума при работе и хорошими экологическими показателями, что делает возможным их использование в жилых районах. Общий КПД микротурбинных когенераторов составляет 85–90%.

Основным недостатком микротурбинных установок по сравнению с газопоршневыми является их высокая удельная стоимость.

В этих условиях высокие первоначальные затраты, связанные с приобретением микротурбинного когенератора, являются фактором, сужающим спектр применения, по крайней мере, на ближайшие несколько лет.

Использование микротурбинных установок оправдано, когда их ключевые преимущества имеют принципиальное значение (там, где имеет место переменный характер нагрузки с периодическим ее падением до нулевых или близких к нулевым значений, в местах, где критичен уровень шума, производимого установкой), в диапазоне мощностей до 250 кВт.

## 2. Классификация по типу производства энергии.

Различают две основные группы когенерационных установок:

- установки одновременного производства электрической и тепловой энергии;
- установки (электростанции) комбинированного цикла с утилизационным котлом и паровой турбиной. Чаще — это электростанции с газовой турбиной, котлом-утилизатором и паровой турбиной (ПГУ — парогазовые установки большой мощности). Но есть проекты где вместо газовой турбины использовался газопоршневой двигатель и паровая турбина малой мощности.

**3. В зависимости от вырабатываемой электрической мощности,** когенерационные установки разделяют на следующие группы:

- микро электростанции (мощность от 1 до 250 кВт);
- мини (мощность от 250 до 1000 кВт);
- малые (мощность от 1 до 60 МВт) – эту группу для простоты зачастую объединяют с предыдущей;
- средние (мощность от 60 до 300 МВт);
- большие (мощность более 300 МВт).

Подчеркнем, что здесь речь идет о мощности электростанций, а не единичной мощности первичного приводного агрегата. Принято считать, что мощности до 250 кВт (микро электростанции) целесообразно и возможно покрывать газопоршневыми или дизельными агрегатами, а также различными установками альтернативной энергетики. От 250 кВт до 10-15 МВт — с помощью газопоршневых агрегатов. Мощности до 60 МВт — с помощью газопоршневых агрегатов (или газовых турбин при единичных мощностях от 20 МВт), а средние и большие мощности — с помощью газовых и паровых турбин или парогазовых установок.

С автономностью когенерационных систем и возможностью их установки в непосредственной близости от потребителя связаны такие **преимущества**, как:

- надежность энергоснабжения;
- отсутствие затрат на подключение к сетям;
- отсутствие потерь энергии, весьма значительных при ее передаче на большие расстояния в централизованных сетях;
- высокое качество электрической (стабильность частоты и напряжения) и тепловой (стабильность температуры) энергии, вырабатываемой когенерационными установками.

Основным преимуществом с точки зрения экологии является то, что повышенная эффективность использования первичного топлива в когенераторах позволяет снизить выбросы вредных веществ в атмосферу в 2–3 раза по сравнению с использованием традиционных энерготехнологий.

Окупаемость таких установок составляет в среднем от 3 до 6 лет.

Когенерация — новая для России технология, а опыт использования этой технологии на Западе составляет порядка 25 лет.

Нетрадиционная энергетика должна стать необходимостью для большинства коммунальных энергетических предприятий города.

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

Для этого необходимы:

- реальный рынок предложений и услуг по нетрадиционной энергетике, включая поставку оборудования, квалифицированное выполнение строительно-монтажных работ и последующее сервисное обслуживание;
- объективная информация, чтобы определить для заказчика реальный эффект, приносящий ему прибыль, а для этого необходимо иметь корректный механизм расчетов и сравнения в условиях рыночной экономики;
- возможность демонстрации и опытной проверки, чтобы убедить потенциальных заказчиков, инвесторов;
- иметь экономические и правовые рычаги в виде налоговой и кредитной политики, чтобы стимулировать собственников энергопроизводящих и энергопотребляющих объектов по применению нетрадиционных видов использования энергии (возможность финансирования строительства, льготное налогообложение).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС: межвуз. сб. науч. тр. – СПб.: ГТУ, 2004. – 258 с.
2. Данилов О. В. Использование вторичных энергетических ресурсов / О. Л. Данилов, В. А. Мунц. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – 154 с.
3. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Основы энергосбережения: Учебник / под общ. ред. Н.И. Данилова. – 4-е изд. перераб. и доп. – Екатеринбург: «Автограф», 2011.- 592 с.
4. Страхова Н.А., Горлова Н.Ю. Оценка систем климатизации и энергосбережения: учебное пособие. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2012. – 189 с.
5. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр. – М.: Энергоатомиздат. 1990. – 392 с.
6. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справ. пособие/ Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П. Титов и др.; Под ред. Л.Д. Богуславского и В.И. Ливчака. – М.: Стройизд- дат, 1990. – 624 с
7. Солнечная энергетика: учеб. пособие / В. И. Виссарионов [и др.]. – М.: Издат. дом МЭИ, 2008. – 317 с.
8. Тарнижевский Б.В. Оценка эффективности применения солнечного теплоснабжения в России. // «Теплоэнергетика» № 5, 1996. – С. 15–18.
9. [ГОСТ Р 51594-2000](#) Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Термины и определения.
10. Шершнев В., Дударев Н. Солнечные системы теплоснабжения // Стротельная инженерия. – 2006. – №1. – <http://www.stroing.ru/>.
11. РД 34.20.115-89. Методические указания по расчету и проектированию систем солнечного теплоснабжения. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1990.
12. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. – М.: Энергоиздат, 1982.
13. ГОСТ Р 51595-2000 Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Общие технические условия.
14. [ГОСТ Р 51596-2000](#) Нетрадиционная энергетика. Коллекторы солнечные. Методы испытаний.
15. ВСН 52-86 «Установки солнечного горячего водоснабжения. Нормы проектирования». // Госгражданстрой СССР,

1987.

16. Янсон Р. А. Ветроустановки: учеб. пособие / Р. А. Янсон; под ред. М. И. Осипова. – М.: МГТУ, 2007. – 36 с.
17. Фатеев Е. М. Ветро двигатели и ветроустановки / Е. М. Фатеев. – М.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1948. – 544 с.
18. Шефтер Я. И. Ветронасосные и ветроэлектрические агрегаты / Я. И. Шефтер, И. В. Рождественский. – М.: Колос, 1967. – 376 с.
19. Харитонов В. П. Автономные ветроэлектрические установки / В. П. Харитонов. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.
20. Шишкин Н.Д. Малые энергоэкономичные комплексы с возобновляемыми источниками энергии. – М.: Готика, 2000. – 236с.
21. Амерханов Р.А. Тепловые насосы. – М.: Энергоатомиздат. 2005. – 160с.
22. О. Воита. Рынок тепловых насосов в Европе// Тр. 6 конференции международного энергетического Агенства по тепловым насосам. Берлин.1999.
23. Чумак И.Г., Минкус Б.А., Кочетов В.П. и др. Энергосбережение при совместном производстве теплоты, холода, и электричества// Садовая энергетика. – Одесса. 1993. – №1. – 58-61с.
24. Дворов И. М. Геотермальная энергетика / И. М. Дворов. – М.: Наука, 1976. – 192 с.
25. Берман Э. Геотермальная энергия: пер. с англ. / Э. Берман. – М.: Мир, 1978. – 192 с.
26. Плешка М.С., Вырлан П.М., Стратан Ф.И. и др. Теплонасосные гелиосистемы отопления и горячего водоснабжения зданий. – Кишинев: Штиинца, 1990. – 122 с.
27. Биомасса как источник энергии: Пер. с англ./Под ред. С. Соуфера, О. Заборски.-М.: Мир, 1985.-368 с.
28. Маслеева О.В., Пачурин Г.В. Экологическая и экономическая целесообразность использования биотоплива // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6-1. – С. 139-144;
29. Баадер, В. Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер; пер. с нем. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
30. Головков С. И. Энергетическое использование древесных отходов / С. И. Головков, И. Ф. Коперин, В. И. Найденов. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 224 с.
31. Теплоэнергетические основы промышленной слоевой газификации растительной биомассы, Сергеев В.В., автореф. докторской диссертации, СПб, 2009 г., 32 с.

Энергосбережение в системах климатизации.  
Возобновляемые источники энергии

32. Узаков Г. Н., Раббимов Р. Т., Давланов Х. А., Рахматов О. И., Узакова Ю. Г. Моделирование и расчет теплового баланса пиролизной установки для получения альтернативного топлива из биомассы // Молодой ученый. — 2014. — №18. — С. 306-312.

33. Узаков Г. Н., Давланов Х. А., Узакова Ю. Г. Обоснование эффективности применения пиролизной установки для отопления теплиц // Молодой ученый. — 2015. — №19. — С. 219-223.

34. Морозюк Т.В., Минкус Б.А. Снижение затрат природных ресурсов в системах для совместного производства электрической энергии, теплоты и холода. // Сб. докл. 3 съезда АВОК. — М.:1993. — 38-43с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение А Термины и определения

<p><b>солнечная энергетика</b> Область энергетики, связанная с преобразованием солнечной энергии в электрическую и тепловую энергию</p>	Solar power engineering
<p><b>солнечно-топливная электростанция; СТЭС</b> Электростанция, преобразующая по единой технологической схеме энергию солнечного излучения и химическую энергию топлива в электрическую и тепловую энергию</p>	Solar-fuel power plant
<p><b>солнечное теплоснабжение</b> Использование энергии солнечного излучения для отопления, горячего водоснабжения и обеспечения технологических нужд различных потребителей</p>	Solar heating
<p><b>солнечное горячее водоснабжение</b> Использование энергии солнечного излучения для нагрева воды с целью обеспечения коммунально-бытовых и технологических нужд различных потребителей</p>	Solar water heating
<p><b>солнечное охлаждение</b> Использование энергии солнечного излучения для получения холода с целью кондиционирования воздуха, хранения продуктов и т.п.</p>	Solar cooling
<p><b>солнечное тепло- и холодоснабжение</b> Использование энергии солнечного излучения для отопления, горячего водоснабжения и получения холода</p>	Solar heating and cooling
<p><b>солнечный элемент</b> Преобразователь энергии солнечного излучения в электрическую энергию, выполненный на основе различных физических принципов прямого преобразования</p>	Solar cell
<p><b>термоэлектрический солнечный элемент</b> Солнечный элемент на основе термоэлектрических явлений, в котором источником тепла является энергия солнечного излучения</p>	Solar thermoelectric element

<p><b>солнечный коллектор</b> Устройство для поглощения энергии солнечного излучения и преобразования ее в тепловую энергию</p>	<p>Solar collector</p>
<p><b>концентратор солнечной энергии</b> Оптическое устройство для повышения плотности потока солнечного излучения, основанное на явлениях отражения и преломления лучей</p>	<p>Solar energy concentrator</p>
<p><b>система солнечного горячего водоснабжения</b> Система, использующая солнечную энергию для нагрева воды и обеспечивающая частичное или полное покрытие нагрузки горячего водоснабжения данного потребителя</p>	<p>Solar hot-water system</p>
<p><b>активная система солнечного отопления</b> Система, использующая солнечную энергию для нагрева теплоносителя в солнечных коллекторах с целью частичного или полного покрытия отопительной нагрузки данного потребителя</p>	<p>Active heating system</p>
<p><b>пассивная система солнечного отопления</b> Система, использующая солнечную энергию для частичного или полного покрытия отопительной нагрузки данного потребителя без применения солнечных коллекторов и специального оборудования, когда приемниками и аккумуляторами солнечной энергии являются конструктивные элементы здания или сооружения</p>	<p>Passive heating system</p>
<p><b>система солнечного теплоснабжения</b> Система, использующая солнечную энергию для частичного или полного покрытия нагрузки отопления и горячего водоснабжения данного потребителя</p>	<p>Solar heating system</p>
<p><b>система солнечного охлаждения:</b> Система, использующая солнечную энергию для частичного или полного покрытия нагрузки охлаждения данного потребителя</p>	<p>Solar cooling system</p>
<p><b>система солнечного тепло- и холодоснабжения</b> Система, использующая солнечную энергию частичного или полного покрытия нагрузки отопления, горячего водоснабжения и охлаждения данного потребителя</p>	<p>Solar heating and cooling system</p>

<p><b>одноконтурная система солнечного теплоснабжения</b> Система, в которой теплоноситель, нагретый в солнечном коллекторе, поступает к потребителю непосредственно или через аккумулятор тепла</p>	<p>Direct-heating solar system</p>
<p><b>двухконтурная система солнечного теплоснабжения</b> Система, в которой тепло отводится из солнечного коллектора, передается в теплообменнике теплоносителю, поступающему к потребителю непосредственно или через аккумулятор тепла</p>	<p>Double-loop heating system</p>
<p><b>термосифонная система солнечного отопления</b> Система, в которой отвод тепла от солнечного коллектора осуществляется путем естественной циркуляции теплоносителя</p>	<p>Thermosyphon solar heating system</p>
<p><b>дублер системы солнечного теплоснабжения</b> Традиционный источник тепловой энергии, обеспечивающий частичное или полное покрытие тепловой нагрузки и работающий в сочетании с системой солнечного теплоснабжения</p>	<p>Auxiliary heater of solar heating system</p>
<p><b>теплопроизводительность системы солнечного теплоснабжения</b> Количество тепла, отдаваемого потребителю за фиксированный период времени (час, сутки, месяц, год) системой солнечного теплоснабжения</p>	<p>Capacity of solar heating system</p>
<p><b>удельная теплопроизводительность системы солнечного теплоснабжения</b> Количество тепла, вырабатываемого системой солнечного теплоснабжения за фиксированный период времени (час, сутки, месяц, год), отнесенное к единице площади солнечных коллекторов</p>	<p>Specific capacity of solar heating system</p>
<p><b>коэффициент, замещения тепловой нагрузки потребителя системой солнечного теплоснабжения</b> Доля тепловой нагрузки потребителя, обеспечиваемой за счет солнечной энергии</p>	<p>Function of heat load supplied by solar heating system</p>
<p><b>плоский солнечный коллектор</b> Солнечный коллектор с поглощающей панелью плоской конфигурации и плоской прозрачной изоляцией</p>	<p>Flat-plate solar collector</p>

<p><b>жидкостный солнечный коллектор</b> Солнечный коллектор, служащий для нагрева жидкого теплоносителя</p>	Fluid-type collector
<p><b>воздушный солнечный коллектор</b> Солнечный коллектор, служащий для нагрева воздуха</p>	Air-type solar collector
<p><b>проточный солнечный коллектор</b> Солнечный коллектор, в котором нагрев теплоносителя осуществляется при движении его через коллектор</p>	Flowing-type solar collector
<p><b>солнечный коллектор-аккумулятор</b> Солнечный коллектор, в котором осуществляется нагрев заполняющего коллектор теплоносителя при отсутствии движения его через коллектор</p>	Collector-storage water heater
<p><b>вакуумированный трубчатый солнечный коллектор</b> Солнечный коллектор, поглощающая панель которого находится в вакуумированном пространстве, ограниченном трубчатой прозрачной изоляцией</p>	Evacuated tube solar collector
<p><b>поглощающая панель солнечного коллектора</b> Конструктивный элемент солнечного коллектора, в котором происходит поглощение солнечной энергии и преобразование ее в тепловую энергию</p>	Absorber plate
<p><b>прозрачная изоляция солнечного коллектора</b> Покрытие или система покрытий, расположенных над поглощающей панелью, прозрачных относительно солнечной энергии, предназначенных для снижения тепловых потерь в окружающую среду</p>	Transparent cover insulation of solar collector
<p><b>площадь поглощающей панели</b> Площадь поверхности поглощающей панели, освещаемая солнцем при перпендикулярном падении потока солнечной энергии на ее поверхность</p>	Area of absorber plate
<p><b>теплопроизводительность солнечного коллектора</b> Количество тепла, отводимого от коллектора за фиксированный период времени (час, сутки, месяц, год)</p>	Solar collector heating capacity

<p><b>КПД солнечного коллектора</b> Отношение теплопроизводительности коллектора к поступившей за тот же период времени на его габаритную площадь суммарной солнечной энергии</p>	<p>Collector efficiency</p>
<p><b>мгновенный КПД солнечного коллектора</b> Отношение теплопроизводительности коллектора к поступившей за тот же период времени на его габаритную площадь суммарной солнечной энергии, когда рассматриваемый период времени стремится к нулю</p>	<p>Collector instantaneous efficiency</p>
<p><b>оптический КПД солнечного коллектора</b> Отношение количества поглощенной коллектором солнечной энергии к поступившей за тот же период времени на его полную поверхность суммарной солнечной энергии</p>	<p>Optical efficiency solar collector</p>
<p><b>полный коэффициент тепловых потерь солнечного коллектора</b> Поток тепла, отдаваемый коллектором в окружающую среду, отнесенный к единице габаритной площади, при разности между средней температурой поглощающей панели и температурой наружного воздуха в 1 °С</p>	<p>Collector overall heat-loss coefficient</p>
<p><b>коэффициент тепловых потерь через прозрачную изоляцию солнечного коллектора</b> Поток тепла, отдаваемый коллектором в окружающую среду через прозрачную изоляцию солнечного коллектора, отнесенный к единице габаритной площади, при разности между средней температурой поглощающей панели и температурой наружного воздуха в 1 °С</p>	<p>Heat-loss coefficient through transparent cover</p>
<p><b>коэффициент эффективности поглощающей панели</b> Значение, характеризующее эффективность переноса тепла от поверхности поглощающей панели к теплоносителю и равное отношению фактической теплопроизводительности солнечного коллектора к теплопроизводительности, которая реализуется при условии, что все термические сопротивления передаче тепла от поверхности поглощающей панели к теплоносителю равны нулю</p>	<p>Collector efficiency factor</p>

<p><b>коэффициент отвода тепла от солнечного коллектора</b> Отношение фактической теплопроизводительности солнечного коллектора к теплопроизводительности, которая реализуется при условии, что температура всей поверхности поглощающей панели равна температуре теплоносителя на входе в солнечный коллектор</p>	<p>Solar collector heat removal factor</p>
<p><b>удельный расход теплоносителя</b> Количество теплоносителя, протекающего в единицу времени через солнечный коллектор, отнесенное к единице его габаритной площади</p>	<p>Specific flowrate of heat transfer fluid</p>
<p><b>равновесная температура</b> Температура поверхности поглощающей панели в стационарных или квазистационарных условиях при отсутствии циркуляции теплоносителя через солнечный коллектор</p>	<p>Equilibrium temperature</p>
<p><b>черное поглощающее покрытие:</b> Покрытие поглощающей панели, характеризующееся высокой поглощательной способностью относительно солнечного излучения и высокой степенью черноты</p>	<p>Black absorptive coating</p>
<p><b>селективное поглощающее покрытие</b> Покрытие поглощающей панели, характеризующееся высокой поглощательной способностью относительно солнечного излучения и низкой степенью черноты при рабочих температурах</p>	<p>Selective absorptive coating</p>
<p><b>теплоотражающее покрытие</b> Покрытие, прозрачное в области солнечного спектра и отражающее в области инфракрасного излучения</p>	<p>Heat reflected coating</p>

## Приложение Б

### Расчет установок ССТ для ГВС

Площадь солнцепоглощающей поверхности коллекторов установки без дублеров  $A$ , м<sup>2</sup>:

$$A = G / \sum_i g_i \quad (\text{Б.1})$$

где  $G$  – суточный расход горячей воды в системе горячего водоснабжения, кг;

$g_i$  – часовая производительность установки, отнесенная к 1 м<sup>2</sup> поверхности солнечного коллектора, кг/м<sup>2</sup>;

$i$  – расчетные часы работы установки.

При неравномерном потреблении горячей воды по месяцам в установках без дублеров расчет площади солнечных коллекторов следует выполнять по величине суточного расхода горячей воды каждого месяца и принимать наибольшую из полученных площадей.

Часовая производительность установки  $g_i$ , кг/м<sup>2</sup>:

$$g_i = \frac{0,86U}{\ln \frac{t_{\max i} - t_1}{t_{\max i} - t_2}} \quad (\text{Б.2})$$

где  $U$  – приведенный коэффициент теплопотерь солнечного коллектора, Вт/(м<sup>2</sup>×К), (8 Вт/(м<sup>2</sup>×К) – для одностекольных коллекторов, 5 Вт/(м<sup>2</sup>×К) – для двустекольных);

$t_1, t_2$  – температура теплоносителя на входе и на выходе солнечного коллектора, °С

Температура на выходе  $t_2$ :

$$t_2 = t_{w2} + 5^\circ\text{C} \quad (\text{Б.3})$$

где  $t_{w2}$  – требуемая температура горячей воды.

Температура на входе определяется по формуле

$$t_1 = t_{w1} + 5^\circ\text{C} \quad (\text{Б.4})$$

где  $t_{w1}$  – температура холодной воды.

Равновесная температура каждого часа  $t_{max i}$ :

$$t_{max i} = q_{\Theta i} / U + t_{ei} \quad (Б.5)$$

где  $q_{\Theta i}$  – приведенная интенсивность поглощенной солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>;

$t_{ei}$  – температура наружного воздуха, °С.

Площадь солнцепоглощающей поверхности установок с дублиром  $A$ , м<sup>2</sup>:

$$A + \frac{1,16G(t_{w2} - t_{w1})}{\eta \sum_i q_i} \quad (Б.6)$$

где  $q_i$  – интенсивность падающей солнечной радиации в плоскости коллектора, Вт/м<sup>2</sup>;

$\eta$  – КПД установки солнечного горячего водоснабжения.

Коэффициент полезного действия установки:

$$\eta = 0,8 \left\{ \Theta - \frac{9U[0,5(t_1 + t_2) - t_e]}{\sum_i q_i} \right\} \quad (Б.7)$$

где  $\Theta$  – приведенная оптическая характеристика коллектора (0,73 – для одностекольных коллекторов и 0,63 – для двухстекольных);

$t_e$  – средняя дневная температура воздуха °С.

Если максимальная часовая теплопроизводительность установки солнечного горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией выше потребной по графику водоразбора, то в установках необходимо устраивать баки-аккумуляторы. Объем бака-аккумулятора  $V$ , м<sup>3</sup>, должен определяться по суточным графикам подогрева воды в установке и водопотребления, а при их отсутствии в зависимости от климатического района по формуле  $V = (0,06 - 0,08)A$ , принимая большее значение для IV климатического района.

При переменном расходе теплоносителя в теплоприемном контуре и контуре нагреваемой воды подбор насосов производит-

ся по максимальной величине расхода. При постоянном расходе теплоносителя его удельный расход должен приниматься в пределах  $20-40 \text{ кг/м}^2 \times \text{ч}$ .

При проектировании установок с переменным расходом теплоносителя расчет теплообменников производится по среднечасовым значениям расходов воды и теплоносителя.

Расчет экономии топлива за счет использования солнечной энергии  $B$ , т у.т/год, следует производить по формуле

$$B = 0,0342 Q / \eta_{nom} \quad (\text{Б.8})$$

где  $Q$  – суммарное количество теплоты  $Q$ , ГДж/год, выработанное установкой солнечного горячего водоснабжения за сезон (год);

$\eta_{nom}$  – КПД замещающего источника теплоты.

### **Экономическая целесообразность применения установки солнечного горячего водоснабжения**

Установка солнечного горячего водоснабжения считается экономически целесообразной при выполнении условия

$$f \leq \eta$$

где  $\eta$  – сезонный или годовой коэффициент полезного действия установки солнечного горячего водоснабжения;

$f$  – критерий экономической эффективности установки солнечного горячего водоснабжения:

$$f = \frac{10^6 (E_w + a) K}{3,6C \sum_{z,j,i} q_i} \quad (\text{Б.9})$$

где  $E_w$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$a$  – норма отчисления на покрытие эксплуатационных расходов (при отсутствии нормативных данных принимать в размере 0,1 от капитальных затрат);

$K$  – удельные капитальные затраты на установку солнечного горячего водоснабжения, руб/м<sup>2</sup>, солнечных коллекторов;

$C$  – удельная стоимость замещаемой теплоты, руб/ГДж.