

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Е. А. ВАСИЛЬЕВА

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Учебное пособие

Санкт-Петербург

2018

УДК 502.7 : 621.1/3 (075)
ББК 26.22
В 191

Васильева Е.А. Альтернативные источники энергии: учебное пособие. – ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2018. – 43 с.

Учебное пособие включает общие сведения о некоторых установках, применяемых в альтернативной энергетике, примеры их расчета, а также данные для выполнения практических заданий в соответствии с разделами рабочей программы дисциплины «Альтернативные источники энергии».

Настоящее пособие предназначено для студентов всех форм обучения по направлениям подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» и «Техносферная безопасность», а также для слушателей в системе дополнительного профессионального образования.

Рецензенты: зав. каф. охраны окружающей среды ВШТЭ СПбГУПТД,
канд.техн.наук О.А. Шанова;

генеральный директор ООО «НПФ «Кортекс»,
канд.техн.наук В.Л. Левин

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД в качестве учебного пособия.

© Высшая школа технологии и энергетики
СПбГУПТД, 2018

© Васильева Е.А., 2018

1. ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

1.1. Общие сведения о солнечных батареях

Фотоэлемент – это особый вид полупроводникового диода, который преобразует солнечное излучение в электроэнергию в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах. В основе фотоэлектрического эффекта лежит процесс поглощения электромагнитного излучения полупроводником, при котором рассеиваемый фотон образует электронно-дырочную пару [1].

Наиболее распространены фотоэлементы на основе монокристаллического кремния – кремниевые фотогальванические элементы (КФЭ). КФЭ включает пластины кремния двух типов: кремний p-типа (дырочный) и кремний n-типа (электронный), на границе соприкосновения которых образуется p-n-переход. Под воздействием светового потока генерируются пары носителей электрон – дырка, и электроны из валентной зоны переходят в зону проводимости, а затем под воздействием разности потенциалов перебрасываются в n-область, что приводит к возникновению фотоэлектродвижущей силы (рис. 1.1).

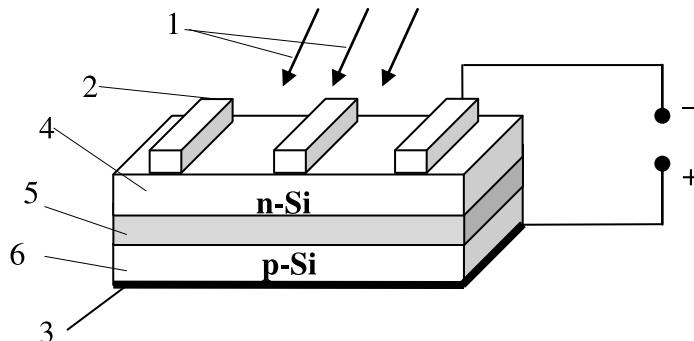


Рис. 1.1. Кремниевый фотогальванический элемент:

1 – солнечное излучение; 2 – отрицательный электрод; 3 – положительный электрод; 4 – слой кремния n-типа; 5 – зона проводимости (p-n переход); 6 – слой кремния p-типа

Верхнюю поверхность фотоэлемента обычно защищают стеклом с селективным (антиотражающим) покрытием. Верхний электрод может быть выполнен в виде ребер жесткости или металлической сетки, нижний обычно представляет собой металлическую пластину или напыление на кремниевой пластине.

Фотоэлемент является источником постоянного тока напряжением около 0,5 В. При подключении в цепь нагрузки сила тока возрастает

пропорционально яркости света до определенного критического значения – тока насыщения. Максимально достижимое значение силы тока зависит от площади р-n-перехода и варьируется в широких пределах. Для увеличения силы тока, напряжения и, как следствие, мощности фотоэлементы объединяют в последовательно-параллельные цепочки – солнечные батареи.

Для электроснабжения потребителей может быть применена автономная фотоэлектрическая система, схема которой представлена на рис. 1.2.

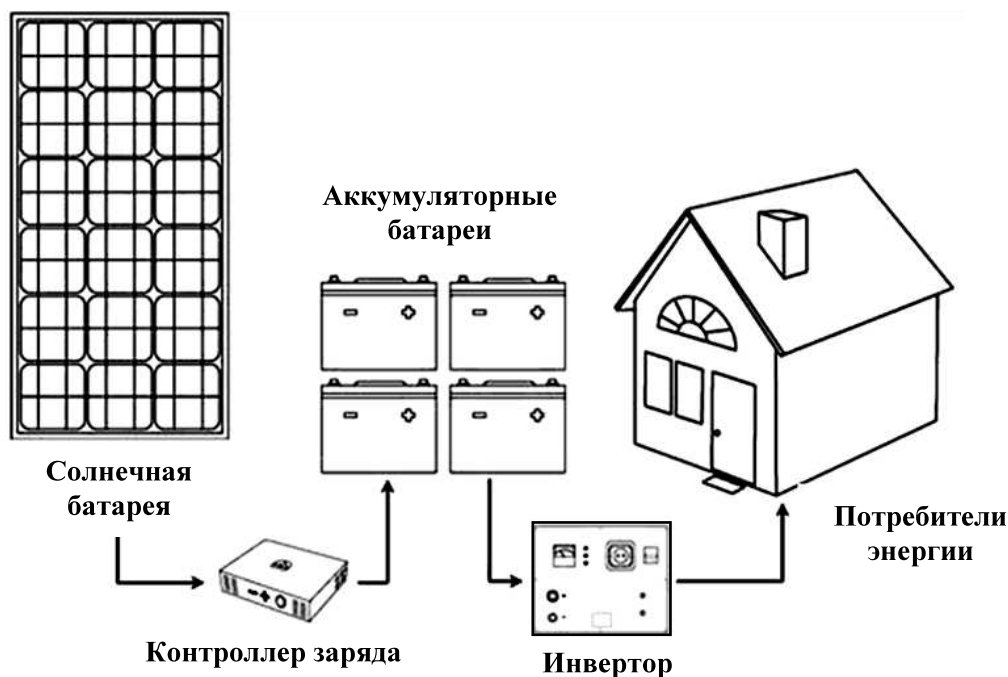


Рис. 1.2. Схема автономной фотоэлектрической системы

Для накопления энергии используются аккумуляторные батареи. Выпускаются специальные аккумуляторы, предназначенные для солнечных батарей, которые отличаются низким показателем саморазряда, а также низкой чувствительностью к частым зарядкам/разрядкам. Наиболее широко применяются гелевые и заливные аккумуляторные батареи.

Для равномерной зарядки всех установленных в схеме аккумуляторных батарей необходим контроллер заряда. Двумя главными параметрами при выборе контроллера являются напряжение и максимальный ток.

Кроме того, для электропитания большинства бытовых приборов и устройств используется переменный ток напряжением 220 В. Для преобразования постоянного тока в переменный применяется инвертор.

Важнейшим вопросом при использовании солнечных батарей является выбор угла их наклона. Для эффективного восприятия прямого солнечного излучения панель должна быть ориентирована перпендикулярно потоку солнечного света - угол падения лучей на поверхность сильно влияет на коэффициент отражения, а, следовательно, на долю невоспринятой солнечной энергии.

Два наиболее распространенных способа крепления солнечных батарей: на крутом скате крыши и экваториальная монтировка – закрепление на штативе с автоматической или ручной ориентацией. На территориях, находящихся между 20 и 60 град. северной широты, солнечные батареи ориентируют на юг, а угол наклона солнечной батареи относительно зенита (β) при условии сезонной работы системы (весна и лето) определяется по формуле:

$$\beta = 102 - \varphi, \text{ град}, \quad (1.1)$$

где φ – широта местности, град.

1.2. Методика расчета КФЭ

Расчет автономной фотоэлектрической системы заключается в определении необходимого количества солнечных батарей и расчете вырабатываемой солнечными батареями суммарной суточной электроэнергии.

Максимальная мощность отдельного КФЭ определяется по формуле:

$$P_{\max} = U_{\text{вых}} \cdot I_{\max}, \text{ Вт}, \quad (1.2)$$

где $U_{\text{вых}}$ – выходное напряжение КФЭ, В;

$I_{\max}$ – максимальная сила тока КФЭ, А.

Последовательно-параллельное соединение фотоэлементов позволяет повысить напряжение и силу тока. При параллельном подключении пропорционально количеству фотоэлементов увеличивается максимальная сила тока, а при последовательном - выходное напряжение.

$$I_{\max}^{\Sigma} = M \cdot I_{\max}, \text{ А}, \quad (1.3)$$

где M – количество КФЭ, подключенных параллельно.

$$U_{\text{вых}}^{\Sigma} = R \cdot U_{\text{вых}}, \text{ В}, \quad (1.4)$$

где R – количество КФЭ, подключенных последовательно.

Правило суммирования напряжения при последовательном соединении действует в идеальных системах, но в реальных напряжение падает на 10-30 % из-за возникающих внутренних сопротивлений, поэтому формулу (1.4) следует применять с поправкой. Как показала практика, в низковольтных фотоэлектрических системах применяются 12-вольтовые аккумуляторные батареи, для подзарядки которых требуется 32 последовательно соединенных КФЭ (при условии, что $U_{\text{вых}} = 0,5 \text{ В}$).

Тогда максимальная электрическая мощность солнечной батареи определяется по формуле:

$$P_{\text{max}}^{\Sigma} = U_{\text{вых}}^{\Sigma} \cdot I_{\text{max}}^{\Sigma}, \text{ Вт.} \quad (1.5)$$

Суточная выработка электрической энергии одной солнечной батареей зависит от количества солнечной энергии, поступающей на ее поверхность. Ориентировочно количество вырабатываемой в сутки энергии можно рассчитать, зная количество солнечных часов в сутки для местности, в которой батарею предполагается эксплуатировать, – среднемесячный коэффициент инсоляции.

$$N_{0i} = P_{\text{max}}^{\Sigma} \cdot \zeta_{mi}, \text{ Вт} \cdot \text{ч/сут}, \quad (1.6)$$

где ζ_{mi} – среднемесячный коэффициент инсоляции для i -го месяца для заданной местности, ч/сут (Приложение).

Потребность в солнечных батареях ($N_{\text{треб}}$) рассчитывается, исходя из суммарных суточных затрат энергии на эксплуатацию всех энергопотребителей на объекте:

$$N_{\text{треб}} = \Sigma (P_{\text{уст},j} \cdot k_j \cdot \tau_j), \text{ Вт} \cdot \text{ч/сут}, \quad (1.7)$$

где $P_{\text{уст},j}$ – установочная мощность j -го прибора, Вт;

k_j – количество j -х приборов на объекте;

τ_j – время работы j -го прибора в сутки, ч/сут.

Количество солнечных батарей, достаточное для обеспечения объекта электроэнергией в i -м месяце, определяется по формуле:

$$n_i = N_{\text{треб}} / N_{0i}. \quad (1.8)$$

Количество солнечных батарей, полученное при расчете формулы (1.8), округляется в большую сторону до ближайшего целого значения.

Суммарное среднемесячное суточное количество электроэнергии, вырабатываемое солнечными батареями в заданном месяце, рассчитывается по формуле:

$$N_i = n_i \cdot N_{0i}, \text{ Вт} \cdot \text{ч/сут.} \quad (1.9)$$

При выборе режима работы автономной фотоэлектрической системы нужно учитывать значительную стоимость фотогальванических преобразователей и их геометрические характеристики. Исходя из этого, в качестве рабочего периода рекомендуется выбирать месяцы, в которых $n_i \leq 10$.

Для выбора аккумуляторных батарей необходимо знать требуемую энергоемкость и продолжительность зарядки/разрядки:

$$C_{\text{АБ треб}} = N_{i \text{ max}} / U_{\text{АБ}}, \text{ А} \cdot \text{ч}, \quad (1.10)$$

где $N_{i \text{ max}}$ – максимальное из значений суммарного среднемесячного суточного количества электроэнергии в выбранном рабочем периоде, Вт·ч;

$U_{\text{АБ}}$ – рабочее напряжение аккумуляторной батареи, В (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Характеристики гелевых аккумуляторных батарей компании Delta [2]

Модель	Рабочее напряжение, В	Номинальная емкость, А·ч
GX12-12	12	12
HRL12-100	12	100
HRL12-200	12	200

При накоплении и в процессе преобразования аккумуляторные батареи теряют часть электрической энергии. Как правило, эффективность современных моделей для солнечных электрических станций составляет 85 %.

Ниже приведен пример частичного расчета автономной фотоэлектрической системы для нескольких месяцев года.

Исходные данные:

Район расположения объекта: г. Санкт-Петербург.

Характеристика КФЭ: Максимальная сила тока 3,0 А. Среднее выходное напряжение 0,5 В.

Характеристика СБ: 32 фотоэлемента последовательно, 8 – параллельно.

Описание потребителей электроэнергии приведено в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Описание потребителей электроэнергии

№	Название потребителя	Количество	Установочная мощность, Вт	Среднее время работы, ч/сутки
1	Лампа энергосберегающая люминесцентная	6	18	8
2	Ноутбук	1	60	10
3	Принтер	1	100	0,25
4	Телефон/факс	1	240	1 (прием/передача)
			3	23 (режим ожидания)

Расчет:

Максимальная мощность КФЭ в соответствии с формулой (1.2):

$$P_{\max} = 0,5 \cdot 3 = 1,5 \text{ Вт.}$$

$$\text{Максимальная сила тока СБ: } I_{\max}^{\Sigma} = 8 \cdot 3 = 24 \text{ А.}$$

Выходное напряжение СБ с учетом поправки к формуле (1.4) составит:

$$U_{\text{вых}}^{\Sigma} = 12 \text{ В.}$$

Тогда максимальная электрическая мощность солнечной батареи по формуле (1.5): $P_{\max}^{\Sigma} = 12 \cdot 24 = 288 \text{ Вт.}$

Суточная выработка электрической энергии одной солнечной батареей для различных месяцев рассчитывается по формуле (1.6) с учетом Приложения.

$$\text{январь: } N_{01} = 288 \cdot 0,35 = 100,8 \text{ Вт}\cdot\text{ч/сут};$$

$$\text{апрель: } N_{04} = 288 \cdot 3,98 = 1146,24 \text{ Вт}\cdot\text{ч/сут};$$

$$\text{июнь: } N_{06} = 288 \cdot 5,78 = 1664,64 \text{ Вт}\cdot\text{ч/сут};$$

$$\text{октябрь: } N_{010} = 288 \cdot 1,23 = 354,24 \text{ Вт}\cdot\text{ч/сут.}$$

Суммарные суточные затраты электроэнергии на объекте рассчитываются по формуле (1.7):

$$N_{\text{треб}} = 6 \cdot 18 \cdot 8 + 1 \cdot 60 \cdot 10 + 1 \cdot 100 \cdot 0,25 + 1 \cdot 240 \cdot 1 + 1 \cdot 3 \cdot 23 = 1798 \text{ Вт}\cdot\text{ч/сут.}$$

Количество солнечных батарей, достаточное для обеспечения объекта электроэнергией в расчетных месяцах, определяется по формуле (1.8):

$$\text{январь: } n_1 = 1798 / 100,8 = 17,8 \approx 18;$$

$$\text{апрель: } n_4 = 1798 / 1146,24 = 1,6 \approx 2;$$

июнь: $n_6 = 1798 / 1664,64 = 1,1 \approx 2$;

октябрь: $n_{10} = 1798 / 354,24 = 5,08 \approx 6$.

Суммарное среднемесячное суточное количество электроэнергии, вырабатываемое солнечными батареями в расчетных месяцах, рассчитывается по формуле (1.9):

январь: $N_1 = 18 \cdot 100,8 = 1814,4 \text{ Вт} \cdot \text{ч/сут}$;

апрель: $N_4 = 2 \cdot 1146,24 = 2292,48 \text{ Вт} \cdot \text{ч/сут}$;

июнь: $N_6 = 2 \cdot 1664,64 = 3329,28 \text{ Вт} \cdot \text{ч/сут}$;

октябрь: $N_{10} = 6 \cdot 354,24 = 2125,44 \text{ Вт} \cdot \text{ч/сут}$.

Требуемая энергоемкость аккумуляторов рассчитывается для июня, поскольку в этом месяце суммарное среднемесячное суточное количество электроэнергии наибольшее:

$$C_{\text{АБ треб}} = 3329,28 / 12 = 277,44 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

Из табл. 1.1 выбираем аккумуляторную батарею HRL12-100 номинальной емкостью 100 А·ч. Тогда минимальное количество аккумуляторных батарей составит 3 шт.

Оптимальный способ крепления СБ - на крутом скате крыши с южной стороны. Угол наклона солнечной батареи с учетом результатов расчета минимального количества (2 шт. для июня) определяется для сезонной работы системы весной и летом: $\beta = 102 - 59 = 43^\circ$.

Вывод: Максимальная мощность солнечной батареи составляет 288 Вт. Угол наклона СБ - 43° с ориентацией на юг. Рекомендованное количество солнечных батарей для сезонной работы в период с апреля по июнь – 2. Суммарное среднемесячное суточное количество электроэнергии, вырабатываемое солнечными батареями в июне - 3329,28 Вт·ч/сут.

2. КОЛЛЕКТОРЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

2.1. Общие сведения о солнечных коллекторах

Коллекторы солнечной энергии (КСЭ) предназначены для преобразования солнечного излучения в тепловую энергию. Коллекторы собирают как прямое,

так и рассеянное (диффузное) и отраженное солнечное излучение. Наиболее распространенными являются плоские КСЭ (рис. 2.1).

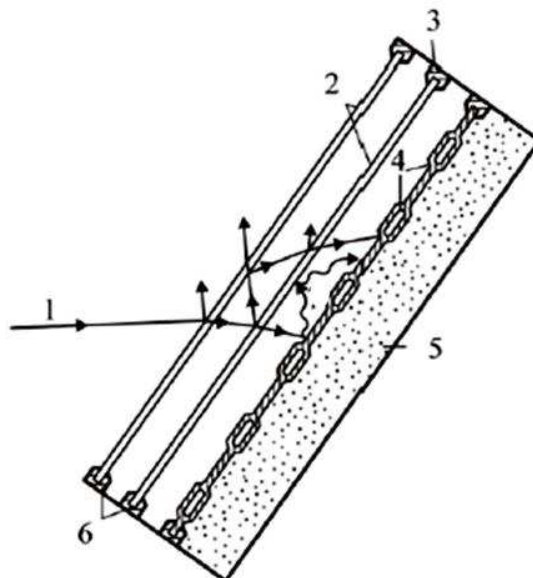


Рис. 2.1. Плоский коллектор солнечной энергии:
1 – солнечное излучение; 2 – защитное остекление; 3 – корпус; 4 –
теплопринимающая панель с каналами для теплоносителя;
5 – теплоизоляция; 6 – уплотнители

Солнечное излучение поступает на поверхность панели через слой остекления и нагревает ее. Теплота передается с поверхности панели жидкому теплоносителю через стенки трубок.

Обычно на панель наносится покрытие с селективными оптическими свойствами – антиконвекционное покрытие (табл. 2.1). Высокоселективное покрытие обеспечивает максимально возможное преобразование поступающего излучения в тепловую энергию (характеризуется коэффициентом поглощения α), при этом только малая часть тепла теряется вследствие вторичного излучения панели (характеризуется коэффициентом излучения ϵ), что обеспечивает более высокий уровень рабочих температур.

Таблица 2.1

Оптические характеристики покрытий [3]

Тип селективного покрытия	Способ нанесения	Коэффициент поглощения, α	Коэффициент излучения, ϵ
без покрытия (медь)	-	0,05	0,04
черный лак	лакирование	0,95	0,85
черный хром	гальванизация	0,95	0,12
синие слои	напыление	0,95	0,05

Плоский КСЭ обычно работает в комплекте с баком-аккумулятором тепловой энергии. На рис. 2.2 приведена схема с плоским коллектором солнечной энергии, предназначенная для горячего водоснабжения (ГВС) потребителей.

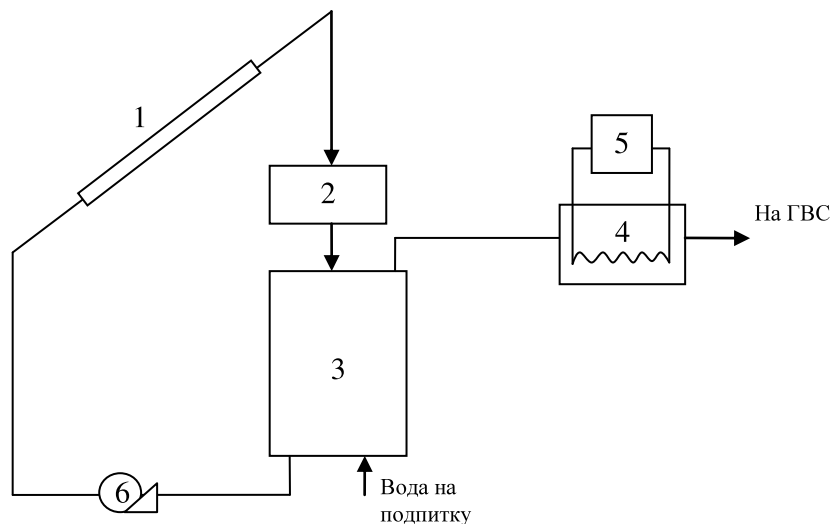


Рис. 2.2. Схема горячего водоснабжения с плоским КСЭ и системой пикового догрева:
1 – плоский КСЭ; 2 – расширительный бак; 3 – бак-аккумулятор тепла;
4 – теплообменник пикового догрева; 5 – дополнительный источник тепла; 6 – насос

Теплопроизводительность коллектора солнечной энергии существенно зависит от его ориентации по сторонам света и от угла наклона к горизонту (β). Самого высокого уровня отдачи солнечной энергии в северных широтах можно добиться при ориентации КСЭ в южном направлении. Оптимальный угол наклона солнечного коллектора к горизонту для систем горячего водоснабжения круглогодичного действия определяется по формуле:

$$\beta = \varphi - (15 \div 20), \text{ град}, \quad (2.1)$$

где φ – широта местности, град.

2.2. Методика расчета плоского КСЭ

При расчете КСЭ в системе солнечного отопления определяются следующие основные параметры:

- угол наклона коллектора;
- коэффициент полезного действия (КПД) коллектора;
- теплопроизводительность (тепловая мощность) коллектора;
- площадь апертуры КСЭ.

Площадь апертуры коллектора - это максимальная проецируемая площадь, через которую солнечное излучение может поступать на тепловоспринимающую панель.

Коэффициентом полезного действия КСЭ называется доля солнечного излучения, попадающая на площадь апертуры коллектора, которая преобразуется в полезную тепловую энергию [3]:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 \cdot \Delta T}{E_g} - \frac{k_2 \cdot \Delta T^2}{E_g}, \quad (2.2)$$

где η_0 – оптический коэффициент полезного действия, доли от 1 (табл. 2.2);

k_1 и k_2 – коэффициенты тепловых потерь в окружающую среду, Вт/(м²·К) и Вт/(м²·К²) соответственно (табл. 2.2);

ΔT – разность температур поступающего в коллектор теплоносителя (воды) и наружного воздуха, К;

E_g – максимальная интенсивность падающего на поверхность Земли солнечного излучения, Вт/м². При безоблачном небе $E_g = 1000$ Вт/м².

Таблица 2.2

Оптические и тепловые характеристики коллекторов [3]

Тип коллектора	Оптический КПД, %	Коэффициент тепловых потерь, k_1 , Вт/(м ² ·К)	Коэффициент тепловых потерь, k_2 , Вт/(м ² ·К ²)
Плоский коллектор	80	4	0,1
Плоский коллектор с селективным покрытием	84	4	0,1
Вакуумированный трубчатый коллектор	80	1,5	0,005

Среднемесячное дневное количество суммарной солнечной энергии, поступающей на 1 кв. метр наклонной поверхности плоского КСЭ, определяется по формуле:

$$\bar{E}_k = \bar{R} \cdot \bar{E}, \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2 \cdot \text{сут}}, \quad (2.3)$$

где $\bar{E}$ - среднемесячное дневное количество суммарного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность, Вт·ч/(м²·сут);

$\bar{R}$ - коэффициент пересчета суммарной среднемесячной дневной солнечной радиации, поступающей на наклонную и горизонтальную поверхности КСЭ:

$$\bar{R} = \left(1 - \frac{\bar{E}_d}{\bar{E}} \right) \bar{R}_n + \frac{1 + \cos \beta}{2} \cdot \frac{\bar{E}_d}{\bar{E}} + \kappa \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (2.4)$$

где $\bar{E}_d$ - среднемесячное дневное количество диффузионной (рассеянной) солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность, Вт·ч / (м²·сут);

$\bar{R}_n$ - среднемесячная величина коэффициента перерасчета прямого излучения с горизонтальной на наклонную поверхность;

β - угол наклона КСЭ к горизонту, град;

κ - коэффициент отражения (альбедо) для подстилающей поверхности Земли (от 0,2 до 0,8). Летом альбедо обычно составляет 0,2, а зимой при наличии снежного покрова 0,7.

Среднемесячная величина коэффициента перерасчета прямого излучения с горизонтальной на наклонную поверхность определяется по формуле:

$$\bar{R}_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \gamma'_z + \frac{\pi}{180} \cdot \gamma'_z \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \gamma_z + \sin \varphi \cdot \sin \delta \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \gamma_z}, \quad (2.5)$$

где φ - широта местности, град;

δ - угол склонения Солнца, град;

γ_z и γ'_z - часовой угол захода (восхода) Солнца для горизонтального и наклонного положений КСЭ, град.

Часовой угол переводит местное солнечное время в число градусов, которое Солнце проходит по небу (рис. 2.3). За γ'_z принимается меньшее из двух значений часового угла, а за γ_z – большее.

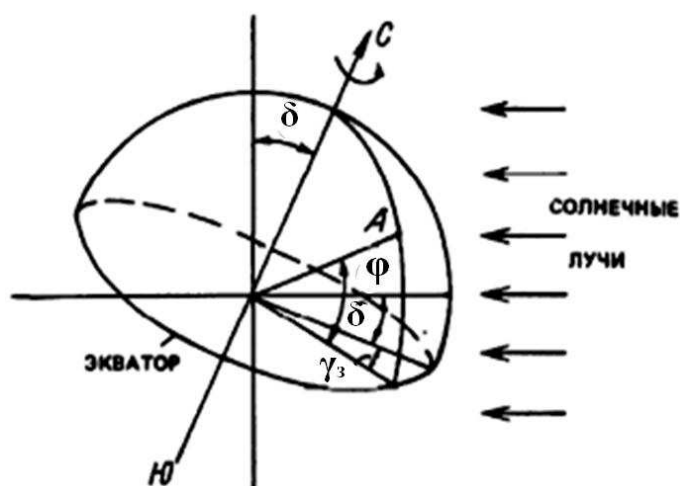


Рис.2.3. Углы, характеризующие положение КСЭ на земной поверхности относительно солнечных лучей:

A – положение КСЭ на земной поверхности; φ – широта местности;
γз – часовой угол; δ – склонение Солнца.

Угол склонения Солнца зависит от положения условной земной оси относительно Солнца. Поскольку орбита вращения имеет эллиптическую форму и сама ось вращения тоже наклонена, то угол меняется в течение года от значения 23,45° (21 июня) до -23,45° (21 декабря) [3]. Угол склонения Солнца определяется по формуле:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right), \quad (2.6)$$

где 23,45 – угол наклона условной земной оси относительно нормали к плоскости вращения Земли вокруг Солнца, град;

360 – значение полного оборота Земли вокруг Солнца за год, град;

284 – количество суток от 21 марта до 31 декабря;

n – количество суток от начала календарного года до последнего дня рассматриваемого месяца.

Максимальное количество теплоты, получаемое в сутки с 1 кв. метра площади плоского КСЭ определяется по формуле:

$$Q_k = \bar{E}_k \cdot \eta, \text{ Вт} \cdot \text{ч} / (\text{м}^2 \cdot \text{сут}), \quad (2.7)$$

где η – КПД плоского КСЭ, доли от 1.

Среднемесячная удельная теплопроизводительность КСЭ определяется по формуле:

$$Q_m = Q_k \cdot n_d, \text{ Вт} \cdot \text{ч} / (\text{м}^2 \cdot \text{мес}), \quad (2.8)$$

где n_d - количество суток в рассматриваемом месяце.

Минимальная необходимая площадь апертуры КСЭ рассчитывается по формуле:

$$F = \frac{Q_{\text{треб}}}{Q_m}, \text{ м}^2, \quad (2.9)$$

где $Q_{\text{треб}}$ – тепловая нагрузка системы ГВС, Вт·ч /мес.

Тепловая нагрузка системы горячего водоснабжения объекта рассчитывается, исходя из требуемой температуры нагрева воды и количества потребителей:

$$Q_{\text{треб}} = N_{\text{ч}} \cdot V_{\text{в}} \cdot q_0 (T_{\text{треб}} - T_{\text{ТН}}), \text{ Вт} \cdot \text{ч/мес}, \quad (2.10)$$

где $N_{\text{ч}}$ – количество человек, потребляющих воду, чел.;

$V_{\text{в}}$ – расход воды на 1 человека в месяц, л/мес;

q_0 – удельный расход энергии на нагрев 1 литра воды на 1 градус, Вт·ч/(л·град);

$T_{\text{треб}}$ – требуемая температура воды, °С;

$T_{\text{ТН}}$ – температура поступающего теплоносителя, °С.

Ниже приведен пример расчета характеристик плоского КСЭ, предназначенного для работы в схеме ГВС.

Исходные данные:

Район расположения объекта: г. Санкт-Петербург.

Расчетный месяц: май.

Периодичность работы КСЭ: сезонная.

Тип коллектора: плоский КСЭ с селективным покрытием.

Часовой угол восхода (захода) Солнца для горизонтальной и наклонной поверхностей: $\gamma'_z = 1,68$; $\gamma_z = 2,32$.

Температура поступающего теплоносителя: 20 °С.

Требуемая температура потребляемой горячей воды: 65 °С.

Количество потребителей горячей воды: 5 чел.

Расчет:

Расчет целесообразно начинать с определения углов, характеризующих положение КСЭ на земной поверхности относительно солнечных лучей.

Оптимальный угол наклона солнечного коллектора к горизонту с учетом координат Санкт-Петербурга $59^{\circ}57'$ с.ш. определяется по формуле (2.1):

$$\beta = 59 - 15 = 44^{\circ}.$$

Угол склонения Солнца для мая определяется по формуле (2.6):

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+151}{365}\right) = 21,9^{\circ}.$$

Среднемесечная величина коэффициента перерасчета прямого излучения с горизонтальной на наклонную поверхность определяется по формуле (2.5):

$$\overline{R}_{\pi} = \frac{\cos(59 - 44) \cdot \cos 21,9 \cdot \sin 1,68 + \frac{\pi}{180} \cdot 1,68 \cdot \sin(59 - 44) \cdot \sin 21,9}{\cos 59 \cdot \cos 21,9 \cdot \sin 2,32 + \sin 59 \cdot \sin 21,9 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot 2,32} = 0,91.$$

Коэффициент пересчета суммарной среднемесечной дневной солнечной радиации, поступающей на наклонную и горизонтальную поверхности КСЭ, определяется по формуле (2.4) с учетом справочных данных (Приложение).

$$\overline{R} = \left(1 - \frac{2731,5}{5460}\right) \cdot 0,91 + \frac{1 + \cos 44}{2} \cdot \frac{2731,5}{5460} + 0,2 \cdot \frac{1 - \cos 44}{2} = 0,91.$$

Среднемесечное дневное количество суммарной солнечной энергии, поступающей на 1 кв. метр наклонной поверхности плоского КСЭ определяется по формуле (2.3):

$$\overline{E}_K = 0,91 \cdot 5460 = 4967,22 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / (\text{м}^2 \cdot \text{сут}).$$

КПД коллектора солнечной энергии определяется по формуле (2.2) с учетом табл. 2.2:

$$\eta = 0,84 - \frac{4 \cdot (20 - 9,8)}{1000} - \frac{0,1 \cdot (20 - 9,8)^2}{1000} = 0,79.$$

Тогда максимальное количество теплоты, получаемое в день с 1 кв. метра площади плоского КСЭ, в соответствии с формулой (2.7), составит:

$$Q_K = 0,79 \cdot 4967,22 = 3918,12 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / (\text{м}^2 \cdot \text{сут}).$$

Среднемесячная удельная теплопроизводительность КСЭ определяется по формуле (2.8):

$$Q_m = 3918,12 \cdot 31 = 121461,80 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / (\text{м}^2 \cdot \text{мес}).$$

Для расчета площади апертуры КСЭ требуется определить тепловую нагрузку системы ГВС объекта по формуле (2.10) с учетом справочных данных (см. Приложение).

$$Q_{\text{треб}} = 5 \cdot 85 \cdot 31 \cdot 1,16 \cdot (65 - 20) = 687735,0 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{мес}.$$

Минимальная необходимая площадь апертуры КСЭ рассчитывается по формуле (2.9):

$$F = \frac{687735,0}{121461,8} = 5,66 \text{ м}^2.$$

Вывод: Для обеспечения горячего водоснабжения объекта с заданными характеристиками в Санкт-Петербурге в мае требуется плоский КСЭ площадью не менее $5,66 \text{ м}^2$ с суточной теплопроизводительностью $3918,12 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / (\text{м}^2 \cdot \text{сут})$. Оптимальный угол наклона плоского КСЭ относительно горизонта составляет 44° .

3. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

3.1. Общие сведения о горизонтальных ВЭУ

Ветроэнергетические установки (ВЭУ) предназначены для преобразования энергии ветра в электрическую энергию. Наиболее распространены установки с горизонтальной осью вращения – горизонтальные ВЭУ (рис. 3.1).

Современные горизонтальные ВЭУ преобразуют в электроэнергию подъемную силу ветра.

Ротор ВЭУ преобразует энергию набегающего ветрового потока в механическую энергию вращения оси турбины, а расположенные в гондоле редуктор (мультипликатор) и электрогенератор преобразуют механическую энергию в электрическую. Диаметр ротора может составлять от нескольких метров до нескольких десятков метров. Частота вращения ротора составляет от 15 до 100 об/мин.

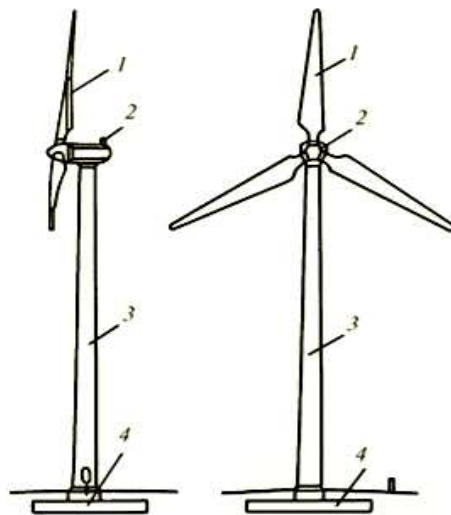


Рис. 3.1. Схема горизонтальной ВЭУ:
1 – ротор; 2 – гондола; 3 – башня; 4 – фундамент

На мощность, вырабатываемую ВЭУ, значительно влияет траектория движения воздушного потока, которая зависит от многих составляющих, в частности, от скорости ветра, от рельефа и застройки местности. Объекты, расположенные на пути ветрового потока, образуют ветровые тени различной высоты и конфигурации, что влияет на эффективность ВЭУ. Поэтому при выборе высоты башни ВЭУ следует руководствоваться правилом: нижняя часть лопастей ветроколеса должна быть как минимум на 10 м выше самого высокого препятствия в пределах 150 м (а в случае протяженного препятствия – 1 км) [4].

3.2. Методика расчета горизонтальной ВЭУ

Энергия ветрового потока, проходящего через площадь, отметаемую лопастями ротора на заданной высоте i , определяется по формуле:

$$E_i = \frac{m_i \cdot \omega_i^2}{2}, \text{ Вт}, \quad (3.1)$$

где ω_i – скорость ветра на i -й высоте, м/с;

m_i – секундный массовый расход воздуха на i -й высоте, кг/с.

С увеличением высоты поверхностные эффекты уменьшаются, а скорость ветра возрастает. Это увеличение скорости с высотой называют градиентом скорости ветра. Скорость ветра на высоте расположения ротора находится из уравнения градиента скорости.

$$\frac{\omega_i}{\omega_0} = \left(\frac{h_i}{h_0} \right)^\alpha, \quad (3.2)$$

где ω_0 - скорость ветра, измеренная на высоте h_0 , м/с;

h_0 - высота, на которой известно значение скорости ветра, м;

h_i - высота башни ВЭУ, на которой будет расположен ротор, м;

α – коэффициент градиента (увеличения) скорости ветра с увеличением высоты.

Коэффициент градиента (α) определяется по табл. 3.1 в зависимости от высоты препятствий, расположенных в радиусе 150 м.

Таблица 3.1

Коэффициент градиента ветра [5]

α	Описание местности в радиусе 150 м
0,1	Идеально гладкая поверхность (спокойная вода)
0,2	Плоские пастбища, низкие кустарники (высота ≤ 2 м)
0,3	Деревья, холмы, здания в отдалении (расстояние >120 м)
0,4	Недалеко расположены деревья, здания и т.п. (расстояние ≤ 120 м)
0,5	Рядом расположены деревья, здания и т.п. (расстояние ≤ 50 м)
0,6	Окружение высокими деревьями, зданиями и т.п. (расстояние ≤ 10 м)

Массовый расход воздуха через площадь, отмечаемую лопастями ротора на заданной высоте, рассчитывается по формуле:

$$m_i = \rho \cdot \omega_i \cdot F, \text{ кг/с}, \quad (3.3)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³;

F – площадь, отмечаемая лопастями ротора, м².

Плотность воздуха при рабочих условиях определяется по формуле (3.4):

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{288 \cdot B}{760 \cdot T}, \text{ кг/м}^3, \quad (3.4)$$

где ρ_0 – номинальная плотность воздуха на высоте уровня моря при температуре 15 °С и атмосферном давлении 760 мм рт.ст., кг/м³,

$\rho_0 = 1,226$ кг/м³;

B – барометрическое давление, мм рт.ст.;

T – рабочая температура воздуха, К.

Площадь, отмечаемая лопастями ротора:

$$F = \pi r^2 = \pi l^2, \text{ м}^2, \quad (3.5)$$

где r – радиус круга, отмечаемого лопастями ротора, м.

За радиус принимается длина лопасти ветроколеса l (м).

Электрическая мощность ВЭУ при расположении ротора на заданной высоте рассчитывается по формуле:

$$N_i = \eta \cdot \zeta \cdot E_i, \text{ Вт}, \quad (3.6)$$

где ζ – коэффициент использования энергии ветра.

ζ зависит от скорости ветра и изменяется от 0,05 до 0,593. Принимать при расчетах для горизонтальных ВЭУ $\zeta = 0,45$;

η – КПД установки;

$$\eta = \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{э}}, \quad (3.7)$$

где $\eta_{\text{в}}$ – КПД ротора;

$\eta_{\text{э}}$ – КПД электрооборудования.

В качестве примера далее представлен расчет скорости ветра и мощности ветроэнергетической установки (ВЭУ) при нескольких значениях высоты башни $h_i = 10; 30; 60; 100$ м, а также при наименьшей допустимой высоте башни ВЭУ ($h_i^{\min}$).

Исходные данные:

Скорость ветра на высоте 10 м: 8 м/с.

Температура воздуха: 23 °С.

Барометрическое давление: 760 мм рт. ст..

Диаметр ротора: 6 м.

КПД ротора: 0,9.

КПД электрооборудования: 0,9.

Тип самого высокого препятствия: здание.

Высота препятствия: 30 м.

Расстояние до препятствия: 150 м.

Расчет:

Площадь, отмечаемая лопастями ротора ВЭУ, определяется по формуле (3.5) при длине лопасти 3 м:

$$F = \pi \cdot 3^2 = 28,26 \text{ м}^2.$$

Плотность воздуха при рабочей температуре воздуха 23 °С определяется по формуле (3.4):

$$\rho = \frac{1,226 \cdot 288 \cdot 760}{760 \cdot (23 + 273)} = \frac{268346,88}{224960} = 1,193 \text{ кг/м}^3.$$

Минимальная высота башни ВЭУ рассчитывается с учетом высоты самого высокого препятствия в радиусе 150 м и диаметра ветроколеса (радиуса ротора) по правилу, описанному в разделе 3.1:

$$h_i^{\min} = 30 + 3 + 10 = 43 \text{ м}.$$

Скорости ветра на различной высоте рассчитываются по формуле (3.2). Поскольку наиболее высокое препятствие является одиночным, имеет высоту более 2 м и находится на расстоянии 150 м от ВЭУ, коэффициент градиента скорости ветра по табл. 3.1 составляет 0,3. Тогда:

$$\text{при } h_i = 10 \text{ м: } \frac{\omega_{10}}{8} = \left(\frac{10}{10}\right)^{0,3};$$

$$\omega_{10} = 8 \text{ м/с};$$

$$\text{при } h_i = 30 \text{ м: } \frac{\omega_{30}}{8} = \left(\frac{30}{10}\right)^{0,3};$$

$$\omega_{30} = 11,12 \text{ м/с};$$

$$\text{при } h_i^{\min} = 43 \text{ м: } \frac{\omega_{43}}{8} = \left(\frac{43}{10}\right)^{0,3};$$

$$\omega_{43} = 12,39 \text{ м/с};$$

$$\text{при } h_i = 60 \text{ м: } \frac{\omega_{60}}{8} = \left(\frac{60}{10}\right)^{0,3};$$

$$\omega_{60} = 13,70 \text{ м/с};$$

$$\text{при } h_i = 100 \text{ м: } \frac{\omega_{100}}{8} = \left(\frac{100}{10}\right)^{0,3};$$

$$\omega_{100} = 15,96 \text{ м/с}.$$

Массовый расход воздуха через площадь, отмечаемую лопастями ротора, определяется по формуле (3.3) для каждого значения скорости ветра:

$$m_{10} = 1,193 \cdot 8 \cdot 28,26 = 269,71 \text{ кг/с};$$

$$m_{30} = 1,193 \cdot 11,12 \cdot 28,26 = 374,90 \text{ кг/с};$$

$$m_{43} = 1,193 \cdot 12,39 \cdot 28,26 = 417,72 \text{ кг/с};$$

$$m_{60} = 1,193 \cdot 13,70 \cdot 28,26 = 461,88 \text{ кг/с};$$

$$m_{100} = 1,193 \cdot 15,96 \cdot 28,26 = 538,08 \text{ кг/с}.$$

Энергия ветрового потока на различной высоте ветроколеса определяется по формуле (3.1):

$$E_{10} = \frac{269,71 \cdot 8^2}{2} = 8630,72 \text{ Вт};$$

$$E_{30} = \frac{374,9 \cdot 11,12^2}{2} = 23179,02 \text{ Вт};$$

$$E_{43} = \frac{417,72 \cdot 12,39^2}{2} = 32062,54 \text{ Вт};$$

$$E_{60} = \frac{461,88 \cdot 13,70^2}{2} = 43345,13 \text{ Вт};$$

$$E_{100} = \frac{538,08 \cdot 15,96^2}{2} = 68530,30 \text{ Вт}.$$

КПД установки по формуле (3.7) составит:

$$\eta = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81.$$

Мощность, развиваемая ВЭУ при различной высоте башни, рассчитывается по формуле (3.6):

$$N_{10} = 0,81 \cdot 0,45 \cdot 8630,72 = 3145,9 \text{ Вт};$$

$$N_{30} = 0,81 \cdot 0,45 \cdot 23179,02 = 8448,75 \text{ Вт};$$

$$N_{43} = 0,81 \cdot 0,45 \cdot 32062,54 = 11686,8 \text{ Вт};$$

$$N_{60} = 0,81 \cdot 0,45 \cdot 43345,13 = 15799,3 \text{ Вт};$$

$$N_{100} = 0,81 \cdot 0,45 \cdot 68530,30 = 24979,3 \text{ Вт}.$$

Зависимость $N_i = f(h_i)$ изображена на рис 3.2.

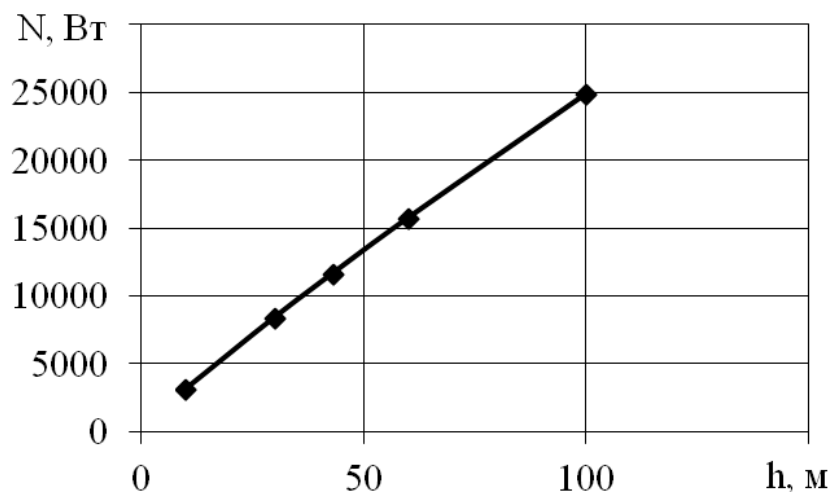


Рис. 3.2. График зависимости $N_i = f(h_i)$

Вывод: Мощность ветроэнергетической установки возрастает с увеличением высоты башни. Мощность ВЭУ при минимальной высоте башни (43 м) составит $N_{43} = 11686,8 \text{ Вт} = 11,7 \text{ кВт}$.

4. ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

4.1. Общие сведения о геотермальной энергетике

Тепловой режим земной коры до глубины около 40 м подвержен суточным и годовым колебаниям. С увеличением глубины колебания затухают. Расстояние от поверхности Земли, при заглублении на которое температура повышается на 1 град., называют геотермической ступенью. Среднее значение геотермической ступени составляет 33 м. Ориентировочная температура горных пород на любой глубине может быть определена по формуле:

$$T = T_B + \frac{H+h}{\sigma}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4.1)$$

где T_B – средняя за многолетний период наблюдений температура воздуха в данной местности, $^\circ\text{C}$;

H – глубина, на которой требуется определить температуру, м;

h – глубина слоя постоянных годовых температур, м;

σ – геотермическая ступень, м [6].

Тепловую энергию земной коры наиболее целесообразно использовать в местах, где пролегают геотермальные водоносные горизонты - гидротермы.

Эффективность использования гидротерм является наиболее важным показателем при выборе способов и схем использования геотермальной энергии и представляет собой отношение фактически используемого в течение года теплового потенциала скважины к максимальному количеству тепла, которое можно получить при круглогодичной эксплуатации скважины на дебите, соответствующем эксплуатационным запасам, и сбрасывании температуры отработанной (сбрасываемой) воды до условной температуры [7].

Различают следующие способы использования геотермальных вод: горячее и техническое водоснабжение (температура вод $40 \div 70$ °C), отопление ($70 \div 120$ °C), электроэнергетика ($150 \div 200$ °C). Причем наиболее рационально использовать термальные воды в последовательном цикле: получение электроэнергии → отопление → горячее водоснабжение (ГВС) [6].

При этом коэффициент эффективности использования гидротерм варьируется в следующих пределах: водяное отопление $0,05 \div 0,34$; воздушное отопление и вентиляция $0,15 \div 0,45$; горячее водоснабжение $0,70 \div 0,92$.

Возможность применения геотермальных вод зависит от их состава и характеристик водоносных источников.

По химическому составу геотермальные воды классифицируются на:

- гидрокарбонатно-натриевые;
- сульфатно-натриевые;
- хлормагниевые;
- хлоркальциевые [8].

Классификация геотермальных вод по газовому составу:

- агрессивные – содержат углекислоту и сероводород;
- нейтральные – азотные и метановые.

Классификация геотермальных вод по степени минерализации:

- пресные – до 1 г/л;
- солоноватые – $1 \div 10$ г/л;

- соленые – 10÷50 г/л;
- рассолы– более 50 г/л (достигает 600 г/л).

По степени водоотдачи различают скважины:

- малодебитные – до 0,005 м³/с;
- среднедебитные – 0,005÷0,02 м³/с;
- высокодебитные – более 0,02 м³/с.

Для чистых неминерализованных геотермальных вод температурой 70÷90 °С наиболее распространена параллельная схема теплоснабжения (рис. 4.1).

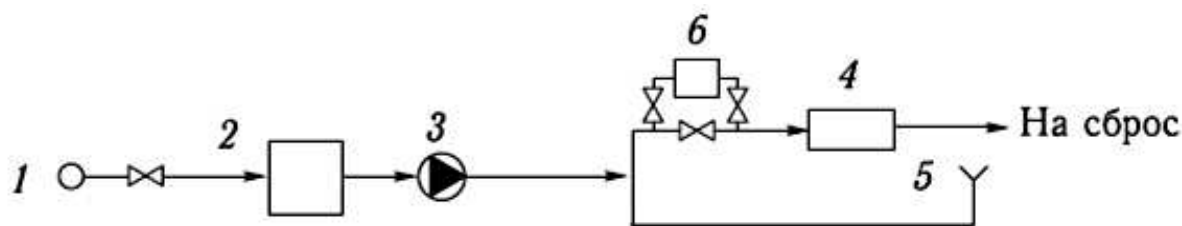


Рис.4.1. Схема теплоснабжения с параллельной подачей геотермальной воды на отопление и ГВС:

1 – скважина; 2 – бак-аккумулятор; 3 – насос; 4 – система отопления; 5 – система ГВС;
6 – теплообменник пикового догрева

Неравномерность суточного расхода воды на ГВС компенсируется за счет наличия в схеме бака-аккумулятора. В часы пикового потребления вода подается потребителям из бака-аккумулятора, а в часы спада потребления вода из скважины накапливается в баке.

Системы теплоснабжения с пиковым догревом используются в районах, где теплоэнергетический потенциал геотермальных ресурсов недостаточен для покрытия тепловых нагрузок потребителей [7].

4.2. Методика расчета геотермальной системы отопления

Определение тепловой нагрузки на геотермальную установку, обеспечивающую теплом объекты жилого и нежилого фонда, связано с определением потребности в тепловой энергии - требуемой тепловой мощности:

$$Q^{тр} = A \cdot Q_{от} + B \cdot Q_{ГВ}^{max}, \text{ Вт}, \quad (4.2)$$

где А и В – коэффициенты потерь тепловой мощности в установке.

При расчетах целесообразно принимать $A = 1,018$, $B = 1,0526$;

$Q_{от}$ – тепловая нагрузка на отопление жилых и общественных зданий, Вт;

$Q_{ГВ}^{max}$ – максимальная тепловая нагрузка на ГВС жилых зданий, Вт.

$$Q_{от} = q_0^{укр} \cdot (F_{ж} + F_o \cdot (1+K)), \text{ Вт}, \quad (4.3)$$

где $q_0^{укр}$ – укрупнённый показатель максимального расхода теплоты на отопление 1 м^2 общей площади зданий, Вт/м^2 (см. Приложение);

$F_{ж}$ – площадь жилых зданий, м^2 ;

F_o – площадь общественных зданий, м^2 ;

K – поправочный коэффициент, учитывающей расход теплоты на отопление общественных зданий, $K = 0,25$.

Для определения тепловой нагрузки на ГВС жилых зданий определяют средний и максимальный тепловые потоки по формулам:

$$Q_{ГВ}^{cp} = q_{ГВ}^{укр} \cdot m, \text{ Вт}, \quad (4.4)$$

где m – количество жителей, чел;

$q_{ГВ}^{укр}$ – укрупнённый тепловой расход на обеспечение горячей водой одного жителя, Вт/чел (см. Приложение).

$$Q_{ГВ}^{max} = 2,4 \cdot Q_{ГВ}^{cp}, \text{ Вт}, \quad (4.5)$$

где $2,4$ – коэффициент максимальной тепловой нагрузки.

Определение требуемого расхода горячей воды из геотермальных скважин на отопление и ГВС проводится по формуле:

$$G_{ГВ} = \frac{Q^{тр}}{\eta \cdot C \cdot \Delta T}, \text{ кг/с}, \quad (4.6)$$

где $Q^{тр}$ – требуемая тепловая мощность источника теплоснабжения, кВт;

η – КПД геотермальной установки, доли от 1;

C – удельная теплоемкость воды, $\text{кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$ (см. Приложение);

ΔT – перепад температур геотермальной воды на входе в систему и на выходе из неё, К.

Определение требуемого количества скважин с учетом их средней водоотдачи выполняется по формуле (4.7). Полученное значение округляется в большую сторону до ближайшего целого значения.

$$n_{\text{СКВ}} = \frac{G_{\text{ГВ}}}{g_{\text{СКВ}}}, \quad (4.7)$$

где $g_{\text{СКВ}}$ – степень водоотдачи скважины, кг/с.

Для перевода степени водоотдачи скважины в единицы массового расхода необходимо знать плотность геотермальной воды. Плотность пресной воды заданной температуры можно определить по справочным данным [9].

Пример расчета требуемого расхода геотермальной воды из гидротерм и количества скважин приведен ниже.

Исходные данные:

Количество жителей: 1610 чел.

Количество жилых домов: 680.

Площадь одного жилого дома: 45 м².

Количество общественных зданий: 2.

Площадь одного общественного здания: 96 м².

КПД геотермальной установки: 0,80.

Температура воды, поступающей из геотермального источника: 98 °С.

Степень водоотдачи скважины: 0,01 м³/с.

Температура воды на выходе из системы: 51 °С.

Справочные данные для расчета приведены в приложении.

Расчет:

Общая площадь жилых зданий составляет:

$$F_{\text{ж}} = 680 \cdot 45 = 30600 \text{ м}^2.$$

Общая площадь общественных зданий составляет:

$$F_{\text{о}} = 2 \cdot 96 = 192 \text{ м}^2.$$

Тепловая нагрузка на отопление жилых и общественных зданий рассчитывается по формуле (4.3):

$$Q_{\text{от}} = 126 \cdot (30600 + 192 \cdot (1 + 0,25)) = 3885840 \text{ Вт} = 3885,84 \text{ кВт}.$$

Средняя тепловая нагрузка на горячее водоснабжение жилых зданий определяется по формуле (4.4):

$$Q_{\text{ГВ}}^{\text{ср}} = 320 \cdot 1610 = 515200 \text{ Вт} = 515,2 \text{ кВт}.$$

Максимальная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение жилых зданий определяется по формуле (4.5) с учетом повышающего коэффициента:

$$Q_{\text{ГВ}}^{\text{max}} = 2,4 \cdot 515,2 = 1236,48 \text{ кВт.}$$

Требуемая тепловая мощность источника теплоснабжения определяется по формуле (4.2):

$$Q^{\text{TP}} = 1,018 \cdot 3885,84 + 1,0526 \cdot 1236,48 = 5257,3 \text{ кВт.}$$

Расход воды из геотермальной скважины на отопление и горячее водоснабжение определяется по формуле (4.6):

$$G_{\text{ГВ}} = \frac{5257,3}{0,8 \cdot 4,19 \cdot (98 - 51)} = 33,37 \text{ кг/с.}$$

Плотность воды при температуре 98 °С составляет 960 кг/м³ [9], поэтому массовый расход воды из одной скважины (степень водоотдачи скважины) составляет:

$$g_{\text{скв}} = 960 \cdot 0,01 = 9,6 \text{ кг/с.}$$

Тогда необходимое количество скважин в соответствии с формулой (4.7) составит:

$$n_{\text{скв}} = \frac{33,37}{9,6} = 3,48 \sim 4.$$

Вывод: для отопления и горячего водоснабжения заданных объектов с применением параллельной геотермальной схемы необходимо 4 среднедебитных скважины с заданными характеристиками.

5. БИОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ

5.1. Общие сведения о биогазе

Биогаз – газообразный продукт, получаемый в результате анаэробной ферментации (сбраживания) органических веществ различного происхождения. Биогаз представляет собой смесь метана CH₄ (55÷70 %), углекислого газа CO₂ (28÷43 %), сероводорода H₂S (до 0,1÷3 %), а также других сопутствующих газов: толуола, аммиака, ксилола, формальдегида, оксида углерода, оксидов азота и пр. [10].

Биогаз является альтернативой природному газу и может быть использован для получения тепловой и электрической энергии.

Биогаз может быть получен из сельскохозяйственных отходов: растениеводства, животноводства, птицеводства (навоз, помёт, подстилка), осадков от очистки сточных вод, твердых коммунальных отходов и др. При этом выход биогаза из сельскохозяйственных отходов наиболее интенсивный и может достигать $600 \text{ м}^3/\text{т}$.

Биогазовые реакторы называются метантенками. Одна из применяемых на сельскохозяйственных предприятиях схем биогазовой установки (БГУ) приведена на рис. 5.1.

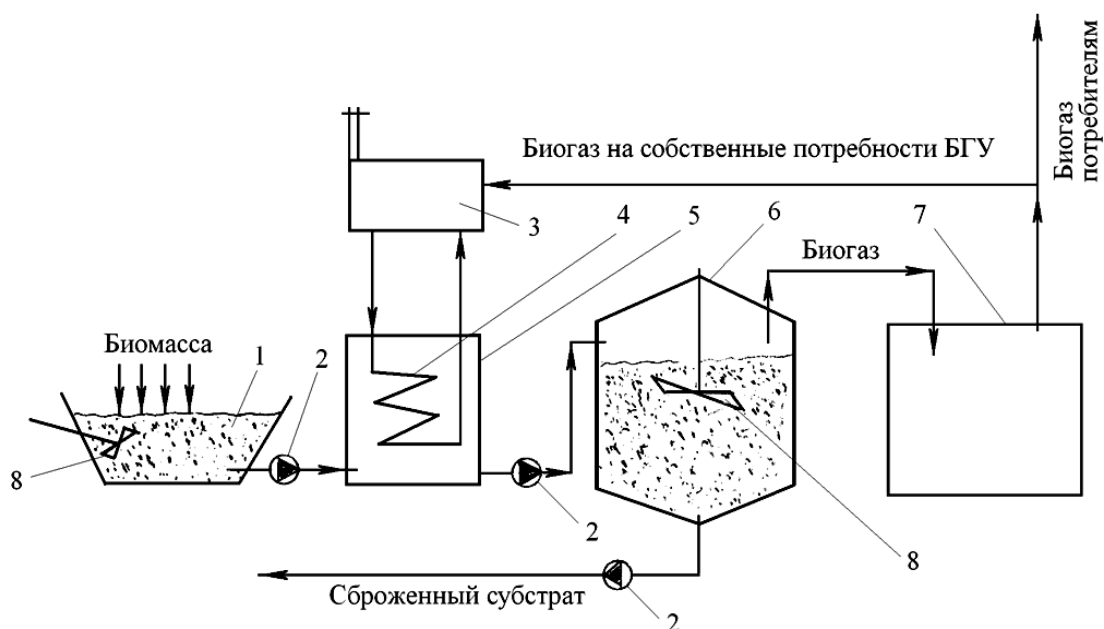


Рис. 5.1. Схема биогазовой установки:

- 1 – бункер для биомассы; 2 – шламовые насосы; 3 – котельное оборудование;
4 – нагревательный элемент; 5 – теплообменник; 6 – биогазовый реактор (метантенк);
7 – газгольдер; 8 – мешалка-аэратор

Анаэробное сбраживание биомассы происходит в несколько стадий:

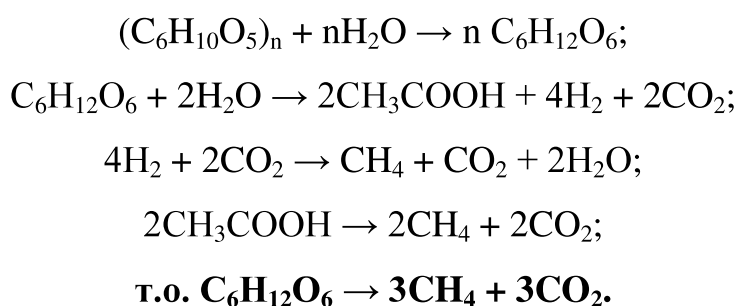
I стадия. Гидролиз. Сложные биополимерные молекулы (белки, жиры, целлюлоза) расщепляются аэробными бактериями до более простых – пептидов, жирных кислот, олигосахаридов.

II стадия. Ферментация (кислотная фаза). Мономеры разрушаются до органических кислот (уксусной, муравьиной, молочной и др.), спиртов, газов

(водород, диоксид углерода, сероводород, аммиак), аминокислот и др. Процесс осуществляют сапрофитные анаэробные бактерии в кислой среде pH 4,5÷7.

III стадия. Метановая фаза. Вещества разлагаются метанобразующими бактериями (строго анаэробными) до метана, углекислого газа, азота и водорода. Фаза считается щелочной, pH 6÷8. Для метанобразующих бактерий оптимальные температуры размножения: 30÷35 °C - мезофильное брожение; 50÷55 °C – термофильное брожение [4].

Процесс сбраживания начинается с гидролиза клетчатки и дальнейшего сбраживания продуктов ее гидролиза:



В процессе метанового брожения 90 % органических веществ превращаются в метан и углекислый газ. Реакция экзотермическая (1,5 МДж/кг сух. массы), но выделяющегося тепла обычно недостаточно для создания в реакторе нужной температуры, поэтому, как правило, применяются устройства дополнительного подогрева биомассы внутри или вне метантенка. Кроме того, метантенки могут быть снабжены перегородками для разделения стадий процесса, оснащены дополнительно мешалками, оборудованием для подачи питательных веществ, средствами контроля и управления процессом [11].

Для биогазовых установок непрерывного действия длительность полного сбраживания составляет 20-22 дня [4].

5.2. Методика расчета метантенка

Суточный выход биогаза из реактора определяется по формуле:

$$L_{\text{БГ}} = \frac{L_{\text{CH}_4}}{C_{\text{CH}_4}^{\%}} \cdot 100, \frac{\text{м}^3}{\text{сут}}, \quad (5.1)$$

где L_{CH_4} – суточный выход метана из реактора, м³/сут;

$C_{\text{CH}_4}^{\%}$ – концентрация метана в биогазе, %.

Суточный выход метана из реактора определяется по формуле:

$$L_{\text{CH}_4} = \frac{L_{0\text{CH}_4} \cdot V_{\text{реакт}}^{\min}}{k_3}, \frac{\text{м}^3}{\text{сут}}, \quad (5.2)$$

где $L_{0\text{CH}_4}$ – удельный суточный выход метана на единицу объема реактора, $\text{м}^3/(\text{сут} \cdot \text{м}^3)$;

$V_{\text{реакт}}^{\min}$ – минимальный объем реактора, м^3 ;

k_3 – коэффициент заполнения реактора, доли от 1.

При определении коэффициента заполнения нужно учитывать, что реактор должен быть заполнен не более чем на 90 %.

Удельный суточный выход метана:

$$L_{0\text{CH}_4} = \frac{B_0 \cdot S_0}{\theta} \cdot \frac{1 - K}{\theta \cdot \mu_{\text{м/о}} - 1 + K}, \frac{\text{м}^3}{\text{сут} \cdot \text{м}^3}, \quad (5.3)$$

где B_0 – предельный выход метана за сутки с 1 кг органического вещества, $\text{м}^3/(\text{сут} \cdot \text{кг})$;

S_0 – концентрация органического вещества на выходе, $\text{кг}/\text{м}^3$;

θ – время полного обмена жидкости в реакторе, сут. Минимальный срок выдержки навоза – 12 сут;

K – кинетический коэффициент;

$\mu_{\text{м/о}}$ – максимальная скорость роста микроорганизмов, сут^{-1} .

Концентрация органического вещества на выходе:

$$S_0 = \frac{G_{\text{сух}} \cdot S_0'}{W_6}, \text{кг}/\text{м}^3, \quad (5.4)$$

где $G_{\text{сух}}$ – суточный выход сухих веществ, $\text{кг}/\text{сут}$;

S_0' – содержание органического вещества, доли от 1;

W_6 – суточный объем биомассы, $\text{м}^3 / \text{сут}$.

$$G_{\text{сух}} = G_6 \cdot C_{\text{сух}}, \text{кг}/\text{сут}, \quad (5.5)$$

где G_6 – суточное количество биомассы, поступающей на переработку, $\text{кг}/\text{сут}$;

$C_{\text{сух}}$ – содержание в биомассе сухого вещества, доли от 1.

Суточный объем биомассы:

$$W_6 = G_6 / \rho_6, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (5.6)$$

где ρ_6 - плотность биомассы (навоза), $\text{кг}/\text{м}^3$.

Кинетический коэффициент в соответствии с теорией управляемого культивирования зависит от типа сбраживаемой биомассы [12, 13]:

$$\text{для навоза крупного рогатого скота (КРС): } K = 0,8 + 0,0016 \cdot e^{0,06 \cdot S_0}; \quad (5.7)$$

$$\text{для свиного навоза: } K = 0,5 + 0,0043 \cdot e^{0,091 \cdot S_0}; \quad (5.8)$$

$$\text{для птичьего помета: } K = 0,6 + 0,0206 \cdot e^{0,051 \cdot S_0}. \quad (5.9)$$

Скорость роста микроорганизмов зависит от температуры протекания процесса:

$$\mu_{m/o} = 0,013 \cdot T - 0,129, \text{ сут}^{-1}, \quad (5.10)$$

где T – температура в метантенке, $^{\circ}\text{C}$.

Минимальный объем реактора:

$$V_{\text{реакт}}^{\min} = W_6 \cdot \Theta, \text{ м}^3. \quad (5.11)$$

Количество тепла от сжигания биогаза:

$$Q_{\text{сут}} = L_{\text{БГ}} \cdot Q_i^r, \text{ МДж/сут}, \quad (5.12)$$

где Q_i^r – низшая теплота сгорания биогаза, $\text{МДж}/\text{м}^3$.

Далее приведен расчет суточного выхода биогаза из реактора и количества тепла, которое может быть получено при его сжигании.

Исходные данные:

Тип биомассы: свиной навоз.

Суточное количество биомассы, поступающей на переработку: 17,61 т/сут.

Плотность навоза: $1070 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Температура процесса анаэробного сбраживания: 32°C .

Расчет:

Предельный выход метана за сутки на 1 кг органического вещества (V_0) при использовании свиного навоза составляет $0,55 \text{ м}^3/(\text{сут} \cdot \text{кг})$. Минимальное время полного обмена жидкости в реакторе (Θ) составляет 12 сут.

Максимальная скорость роста микроорганизмов зависит от температуры процесса и определяется по формуле (5.10):

$$\mu_{\text{м/о}} = 0,013 \cdot 32 - 0,129 = 0,287 \text{ сут}^{-1}.$$

Концентрация органического вещества на выходе из реактора вычисляется по формуле (5.4) и зависит от суточного расхода сухих веществ и объема биомассы. Суточный объем биомассы определяется по формуле (5.6):

$$W_6 = 17610/1070 = 16,46 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Суточный выход сухих веществ вычисляется по формуле (5.5):

$$G_{\text{сух}} = 17610 \cdot 0,115 = 2025,15 \text{ кг/сут}.$$

Концентрация органического вещества на выходе из реактора:

$$S_0 = \frac{2025,15 \cdot 0,068}{16,46} = 8,37 \text{ кг/м}^3.$$

Кинетический коэффициент для свиного навоза определяется по формуле (5.8): $K = 0,5 + 0,0043 \cdot e^{0,091 \cdot 8,37} = 0,5 + 0,0043 \cdot 2,14 = 0,5092$.

Удельный суточный выход метана рассчитывается по формуле (5.3):

$$L_{\text{ОСН}_4} = \frac{0,55 \cdot 8,37}{12} \cdot \frac{1 - 0,5092}{12 \cdot 0,287 - 1 + 0,5092} = 0,0638 \frac{\text{м}^3}{\text{сут} \cdot \text{м}^3}.$$

Для определения суточного выхода метана из реактора нужно вычислить минимальный объем реактора по формуле (5.11):

$$V_{\text{реакт}}^{\text{min}} = 16,46 \cdot 12 = 197,52 \text{ м}^3.$$

Суточный выход метана из реактора при загрузке реактора на 90 % в соответствии с формулой (5.2) составит: $L_{\text{СН}_4} = \frac{0,0638 \cdot 197,52}{0,9} = 14,002 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}}.$

Суточный выход биогаза из реактора определяется по формуле (5.1):

$$L_{\text{БГ}} = \frac{14,002}{70} \cdot 100 = 20,003 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}}.$$

Количество тепла от сжигания полученного объема биогаза вычисляется по формуле (5.12): $Q_{\text{сут}} = 20,003 \cdot 23 = 460,07 \text{ МДж/сут}.$

Вывод: В результате мезофильного анаэробного сбраживания свиного навоза в количестве 17,61 т/сут может быть получено до 460,07 МДж тепла в сутки. Эта тепловая энергия может быть использована для нагрева биомассы, а также отопления производственных и административных помещений сельскохозяйственного предприятия в холодные периоды года.

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Практические задания предназначены для закрепления учебного материала, рассмотренного в первых главах настоящего пособия. Номера вариантов для выполнения практических заданий распределяются преподавателем. Справочные данные для выполнения заданий приведены в приложении.

Задание № 1. Рассчитать мощность солнечной батареи (СБ) для обеспечения электроэнергией заданного объекта в каждом месяце года. Определить потребность в СБ в каждом месяце года и среднесуточное количество энергии. Определить потребность в аккумуляторных батареях. Задать оптимальный угол наклона солнечной батареи.

Таблица 6.1

Описание потребителей электроэнергии

№	Название	Кол-во	Мощность, Вт	Среднее время работы, ч/сут
Вариант 1				
1	Лампа энергосберегающая	12	15	8
2	Ноутбук	2	60	8
3	Принтер	1	100	0,5
4	Телефон/факс	1	240	1 (прием/передача)
			3	23 (режим ожидания)
5	Чайник	1	1500	0,5
Вариант 2				
1	Светодиодная (LED) лампа	8	10	10
2	Компьютер стационарный	4	450	8
3	МФУ HP LaserJet Pro	1	445	3
4	Радиотелефон	1	4	24
5	Холодильник класса А	1	680 Вт/сут	
6	Чайник	1	1200	0,5
Вариант 3				
1	Светодиодная (LED) лампа	8	10	10
2	Компьютер стационарный	2	250	8
3	Ноутбук	1	60	1,5
4	Мультимедийный проектор	1	280	1,5
5	МФУ	1	450	0,5
6	Чайник	1	1400	0,5
Вариант 4				
1	Светодиодная (LED) лампа	10	10	4
2	Компьютер стационарный	5	380	8
3	Принтер	1	100	0,5
4	Сканер/копир	1	250	0,5
5	Телефон	1	4	24
6	Чайник	1	1150	0,5

№	Название	Кол-во	Мощность, Вт	Среднее время работы, ч/сут
Вариант 5				
1	Лампа энергосберегающая	3	15	6
2	Компьютер стационарный	1	450	3
3	Телефон/факс	1	240	1 (прием/передача)
			3	23 (режим ожидания)
4	Холодильник класса А+	1	500 Вт/сут	
5	Чайник	1	1000	1,5
6	Микроволновая печь	1	1200	1
Вариант 6				
1	Светодиодная (LED) лампа	9	4	8
2	Компьютер стационарный	6	250	7
3	МФУ HP LaserJet Pro	1	445	1,5
4	Чайник	2	1200	0,5
5	Холодильник класса А+	1	500 Вт/сут	
6	Тепловентилятор	1	1600	0,5
Вариант 7				
1	Светодиодная (LED) лампа	4	4	4
2	Компьютер стационарный	2	500	6
3	МФУ	1	400	1
4	Телефон	1	7	24
5	Чайник	2	1200	0,5
6	Микроволновая печь	1	1200	0,5
Вариант 8				
1	Светодиодная (LED) лампа	15	4	5
2	Компьютер стационарный	1	420	5
3	Ноутбук	1	60	3
4	Телефон/факс	1	240	3 (прием/передача)
			3	21 (режим ожидания)
5	Холодильник класса А	1	650 Вт/сут	
6	Чайник	1	1100	2
Вариант 9				
1	Лампа энергосберегающая люминесцентная	5	15	3
2	Компьютер стационарный	10	250	5
3	Ноутбук	1	60	2
4	Мультимедийный проектор	1	280	2
5	Телефон/факс	1	240	1,5 (прием/передача)
			3	22,5 (режим ожидания)
Вариант 10				
1	Лампа энергосберегающая люминесцентная	10	15	6
2	Компьютер стационарный	1	450	5
3	Телефон/факс	1	240	0,5 (прием/передача)
4			3	23,5 (режим ожидания)
5	Холодильник класса А+	1	500 Вт/сут	
6	Микроволновая печь	1	1200	0,5

Таблица 6.2

Характеристики автономной фотоэлектрической системы

№ варианта	Район расположения	Характеристики фотоэлементов			Характеристики солнечных батарей	
		тип	максимальная сила тока, А	среднее выходное напряжение, В	последовательно	параллельно
1	г. Санкт-Петербург	КФЭ	3,2	0,5	32	12
2	г. Санкт-Петербург	КФЭ	2,6	0,5	32	15
3	г. Санкт-Петербург	КФЭ	2,0	0,5	32	14
4	г. Ростов-на-Дону	КФЭ	1,8	0,5	32	16
5	г. Ростов-на-Дону	КФЭ	2,0	0,5	32	12
6	г. Ростов-на-Дону	КФЭ	2,4	0,5	32	11
7	г. Казань	КФЭ	2,0	0,5	32	15
8	г. Казань	КФЭ	2,2	0,5	32	14
9	г. Казань	КФЭ	2,8	0,5	32	11
10	г. Казань	КФЭ	2,6	0,5	32	13

Задание № 2. Определить среднемесячную теплопроизводительность и площадь аперттуры плоского КСЭ.

Таблица 6.3

Исходные данные для расчета плоского КСЭ

№ варианта	Данные о периодичности работы КСЭ	Данные о покрытии поглощающей панели	Расчетный месяц	Город	Часовой угол восхода (захода) Солнца для горизонтальной и наклонной поверхностей		Температура поступающего теплоносителя, °С	Требуемая температура потребляемой горячей воды, °С	Количество потребителей горячей воды, чел
					γ_z	γ_z			
1	сезонный	неселективное	май	Санкт-Петербург	1,68	2,32	17	60	2
2	сезонный	селективное	июнь	Казань	1,69	2,24	17	50	6
3	сезонный	неселективное	июнь	Ростов-на-Дону	1,69	2,05	21	65	2
4	сезонный	неселективное	сентябрь	Санкт-Петербург	1,46	1,55	16	50	5
5	сезонный	селективное	август	Казань	1,61	1,78	18	60	5
6	сезонный	селективное	июль	Ростов-на-Дону	1,66	1,93	16	50	6

№ варианта	Данные о периодичности работы КСЭ	Данные о покрытии поглощающей панели	Расчетный месяц	Город	Часовой угол восхода (захода) Солнца для горизонтальной и наклонной поверхностей		Температура поступающего теплоносителя, °С	Требуемая температура потребляемой горячей воды, °С	Количество потребителей горячей воды, чел
					γ_z	γ_z			
7	сезонный	селективное	август	Санкт-Петербург	1,61	1,82	19	70	5
8	сезонный	селективное	июнь	Ростов-на-Дону	1,69	2,05	21	60	6
9	сезонный	неселективное	сентябрь	Казань	1,47	1,55	17	45	8
10	сезонный	неселективное	сентябрь	Санкт-Петербург	1,46	1,55	19	50	3

Задание № 3. Рассчитать скорость ветра и мощность горизонтальной ветроэнергетической установки (ВЭУ) при значениях высоты башни $h_i = 10; 30; 60; 100$ м. Рассчитать наименьшую допустимую высоту башни ВЭУ и определить скорость ветра и мощность установки при этом значении высоты. Построить график зависимости $N_i = f(h_i)$.

Таблица 6.4

Исходные данные для расчета горизонтальной ВЭУ

№ варианта	Скорость ветра на высоте 10 м., м/с	Температура воздуха, °С*	Диаметр ветроколеса, м	КПД ветроколеса	КПД электрооборудования	Тип самого высокого препятствия	Высота препятствия, м	Расстояние до препятствия, м
1	8	20	4	0,7	0,8	здание	15	120
2	6	14	5	0,8	0,9	дерево	6	20
3	10	12	8	0,9	0,7	кусты	1,2	100
4	7	16	5	0,8	0,9	дерево	2,5	150
5	9	17	4	0,7	0,8	здание	10	40
6	6	18	5	0,8	0,7	холм	5	70
7	10	19	7	0,9	0,75	пастбище	0,5	60
8	7	20	4	0,9	0,8	дерево	8	128
9	8	21	8	0,9	0,8	дерево	3	135
10	9	22	3	0,7	0,9	здание	12	150

* Примечание: При расчетах принимать барометрическое давление: 760 мм рт. ст.

Задание № 4. Определить количество геотермальных скважин и сделать вывод о классе скважин по степени водоотдачи.

Таблица 6.5

Исходные данные для расчета схемы теплоснабжения с параллельной подачей геотермальной воды на отопление и ГВС

№ варианта	Количество жителей, чел.	Количество жилых домов	Площадь одного жилого дома, м ²	Количество общественных зданий	Площадь одного общественного здания, м ²	КПД установки	Температура воды из геотермального источника, °С *	Температура воды на выходе из системы, °С
1	1020	800	36	3	100	0,60	90	58
2	2000	950	40	2	120	0,65	100	50
3	1215	780	32	5	80	0,70	85	45
4	1400	480	50	1	150	0,75	80	53
5	2000	650	100	2	100	0,80	95	50
6	1880	540	85	3	90	0,85	93	45
7	1185	260	100	1	180	0,60	95	60
8	1960	680	75	2	95	0,65	85	45
9	2200	700	42	4	80	0,70	96	50
10	2070	620	70	2	105	0,75	85	38

* Примечание: При расчетах принимать степень водоотдачи скважины: 0,01 м³/с.

Задание № 5. Определить суточный выход биогаза из реактора и количество тепла, которое может быть получено от его сжигания.

Таблица 6.6

Исходные данные для расчета метантенка

№ варианта	Тип биомассы / вид хранилища	Суточное количество биомассы, поступающей на переработку, т/сут	Плотность биомассы (навоза), кг/м ³	Температура процесса анаэробного сбраживания, °С
1	навоз КРС/бетонное хранилище	53,52	1025	35
2	навоз КРС/земляное хранилище	66,06	1024	33
3	коровий навоз	42,37	1029	35
4	свиной навоз	29,55	1050	34

№ варианта	Тип биомассы / вид хранилища	Суточное количество биомассы, поступающей на переработку, т/сут	Плотность биомассы (навоза), кг/м ³	Температура процесса анаэробного сбраживания, °С
5	навоз КРС/бетонное хранилище	42,08	1010	36
6	навоз КРС/земляное хранилище	40,5	1012	35
7	коровий навоз	59,31	1020	35
8	свиной навоз	33,96	1065	33
9	коровий навоз	82,02	1022	32
10	свиной навоз	18,5	1070	35

При расчетах принимать:

- 1) содержание органического вещества в навозе - 6,8 %;
- 2) содержание сухого вещества – 11,5 %;
- 3) концентрация метана в биогазе - 70 %;
- 4) предельный выход метана за сутки на 1 кг органического вещества, м³/(сут·кг):

навоз КРС (бетонное навозохранилище) – 0,36;

навоз КРС (земляное навозохранилище) – 0,07;

коровий навоз – 0,25;

свиной навоз – 0,55;

- 5) низшая теплота сгорания биогаза - 23 МДж/м³.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ляшков В.И., Кузьмин С.Н. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. 96 с.

2. Аккумуляторы для солнечных батарей — обзор цен на модели [Электронный ресурс] // Интернет-журнал об альтернативной энергии Slark Energy. URL:<http://slarkenergy.ru/solar/battery/akkumulyator.html> (дата обращения: 25.09.2018).

3. Книга о «солнце». Руководство по проектированию систем солнечного теплоснабжения к 10-летию ООО «Виссман» в Украине. – Киев: Злато-граф, 2010. – 195 с.

4. Возобновляемые источники энергии: метод. пособие для выполнения контрольных работ /сост. Е.А. Васильева, Л.М. Исянов. /СПбГТУРП. – СПб., 2014. – 28 с.
5. Безруких П.П. Ветроэнергетика: справочное и методическое пособие. – М.: Энергия, 2010. – 320 с.
6. Городов Р.В., Губин В.Е., Матвеев А.С. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та. 2009. – 294 с.
7. Состояние и перспективы развития геотермальной энергетики [Электронный ресурс] // Информационный сайт о электроэнергетике. URL: <https://energy.zp.ua/tehnologii-dobychi-i-ispolzovaniya-geotermalnoj-energii/> (дата обращения: 25.09.2018).
8. Голицын М.В., Голицын А.М., Пронина Н.В. Альтернативные энергоносители / отв. ред. Г.С. Голицын. – М.: Наука, 2004. – 159 с.
9. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. – 9-е изд. – М.: Наука. 1982. – 208 с.
10. Итоги науки и техники: серия «Биотехнология». Т. 21. Биогаз – проблемы и решения. – М.: ВИНТИ, 1988.
11. Магомедов А. М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. - Махачкала: Юпитер, 1996. – 244 с.
12. Chen Y. R., Hashimoto A. G. Kinetics of Methane Fermentation. Biotechnology and Bioengineering Symposium.–1978.–№ 8.–Р. 269– 282.
13. Баснакьян И.А., Бирюков В.В., Крылов Ю.М. Математическое описание основных кинетических закономерностей процесса культивирования микроорганизмов // В кн.: Итоги науки и техники. Микробиология. Т. 5. Управляемое и непрерывное культивирование микроорганизмов.– М.: ВИНТИ, 1976.– С. 5-75.

Характеристики местности для расчета солнечных энергетических установок

Показатель	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Санкт-Петербург (59°57' с.ш.)												
Средняя температура воздуха, °С	-7,8	-7,8	-3,9	3,1	9,8	15,0	17,8	16,0	10,9	4,9	-0,3	-5,0
Коэффициент инсоляции, ч	0,35	1,08	2,36	3,98	5,46	5,78	5,61	4,31	2,60	1,23	0,50	0,20
Суммарное солнечное излучение, горизонтальная поверхность, Вт·ч/(м ² день)	350,0	1080,0	2360,0	3980,0	5460,0	5780,0	5610,0	4310,0	2600,0	1230,0	500,0	200,0
Диффузионное солнечное излучение, горизонтальная поверхность, Вт·ч/(м ² день)	325,9	793,1	1511,5	2237,8	2731,5	2850,7	3002,3	2308,7	1586,9	818,3	345,3	168,9
Казань (55°47' с.ш.)												
Средняя температура воздуха, °С	-13,5	-13,1	-6,5	3,7	12,4	17,0	19,1	17,5	11,2	3,4	-3,8	-10,4
Коэффициент инсоляции, ч	0,68	1,44	2,82	4,29	5,52	5,93	5,72	4,49	2,86	1,51	0,83	0,54
Суммарное солнечное излучение, горизонтальная поверхность, Вт·ч/(м ² день)	680,0	1440,0	2820,0	4290,0	5520,0	5930,0	5720,0	4490,0	2860,0	1510,0	830,0	540,0
Диффузионное солнечное излучение, горизонтальная поверхность, Вт·ч/(м ² день)	633,2	1057,5	1806,1	2412,1	2761,5	2924,7	3061,2	2405,1	1745,6	1004,6	573,3	456,0
Ростов-на-Дону (47°14' с.ш.)												
Средняя температура воздуха, °С	-5,7	-4,8	0,6	9,4	16,2	20,2	23,0	22,1	16,3	9,2	2,5	-2,6
Коэффициент инсоляции, ч	1,27	2,09	2,98	4,09	5,53	5,76	5,86	5,17	3,85	2,38	1,31	1,00
Суммарное солнечное излучение, горизонтальная поверхность, Вт·ч/(м ² день)	1270,0	2090,0	2980,0	4090,0	5530,0	5760,0	5860,0	5170,0	3850,0	2380,0	1310,0	1000,0
Диффузионное солнечное излучение, горизонтальная поверхность, Вт·ч/(м ² день)	1182,7	1534,8	1908,6	2299,6	2765,0	2840,8	2930,0	2769,4	2349,9	1583,4	904,8	844,5

Удельный расход энергии на нагрев 1 л воды на 1 °С – 1,16 Вт·ч/л.

Нормы расхода горячей воды на человека – 85 л/сут.

Укрупненный показатель максимального расхода теплоты на отопление 1 кв. м общей площади зданий - 126 Вт/м².

Укрупнённый тепловой расход на обеспечение горячей водой одного жителя - 320 Вт/чел.

Удельная теплоемкость воды - 4,19 кДж/(кг*К).

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Фотоэлектрические преобразователи	3
1.1. Общие сведения о солнечных батареях.....	3
1.2. Методика расчета КФЭ	5
2. Коллекторы солнечной энергии	9
2.1. Общие сведения о солнечных коллекторах.....	9
2.2. Методика расчета плоского КСЭ	11
3. Горизонтальные ветроэнергетические установки	17
3.1. Общие сведения о горизонтальных ВЭУ	17
3.2. Методика расчета горизонтальной ВЭУ	18
4. Геотермальные энергетические системы.....	23
4.1. Общие сведения о геотермальной энергетике	23
4.2. Методика расчета геотермальной системы отопления	25
5. Биогазовые установки.....	28
5.1. Общие сведения о биогазе	28
5.2. Методика расчета метантенка	30
6. Практические задания.....	34
Библиографический список.....	39
Приложение	41

Учебное издание

Елена Александровна Васильева

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Учебное пособие

Редактор и корректор Н.П. Новикова
Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2018 г., поз.80

Подписано к печати 03.09.18 г. Формат 60х84/16. Бумага тип № 1.

Печать офсетная. 2,75 печ.л.; 2,75 уч.-изд. л. Тираж 100 экз.

Изд. № 80. Цена «С». Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095,
Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.