

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра электротехники

621.311.2(07)
К434

И.М. Кирпичникова, Е.В.Соломин

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Учебное пособие
к практическим занятиям

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2009

УДК 621.311.2(07)
К434

Одобрено
учебно-методической комиссией
энергетического факультета

Рецензенты:
А.Г. Возмилов, В.И. Пегов

Кирпичникова И.М.

К-434 Возобновляемые источники энергии: учебное пособие к
практическим занятиям/ И.М. Кирпичникова, Е.В.Соломин. –
Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 50 с.

Учебное пособие предназначено для преподавателей и студентов энергетического факультета, обучающихся по специальности 140104 «Промтеплоэнергетика», 140203 «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», 140204 «Электрические станции», 140205 «Электроэнергетические системы и сети», 140211 «Электроснабжение», 140601 «Электромеханика», 140604 «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов», 140609 «Электрооборудование летательных аппаратов» изучающих дисциплину «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», и направления 140200 «Электроэнергетика».

Учебное пособие состоит из семи разделов по основным видам возобновляемых источников энергии. В каждом разделе имеется теоретическое пояснение, сформулированы условия задач и приведены примеры их решения. В приложении приведен необходимый справочный материал и варианты задач.

УДК 621.311.2(07)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ТЕМА 1. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	5
ТЕМА 2. ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА	9
2.1. Использование энергии солнца для получения тепловой энергии.....	9
2.2. Использование энергии солнца для получения электрической энергии.....	12
ТЕМА 3. ЭНЕРГИЯ ВЕТРА	17
3.1. Характеристика ветра и повторяемость скоростей ветра для заданного района.....	17
3.2. Расчет мощности, вырабатываемой ветроустановкой.....	19
ТЕМА 4. ЭНЕРГИЯ БИОМАССЫ	22
ТЕМА 5 . ЭНЕРГИЯ МАЛЫХ РЕК	26
5.1. Расчет плотины гидроэлектростанции и параметров гидротурбины.....	26
5.2. Расчет гирляндной ГЭС.....	30
ТЕМА 6. ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ	32
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	35
ПРИЛОЖЕНИЯ	36

ВВЕДЕНИЕ

Использование органического топлива для получения энергии характеризуется существенным отрицательным влиянием на среду обитания человека и природу. Чем больше энергии мы потребляем, тем больше органического топлива требуется сжечь для ее производства. Продукты сгорания органического топлива на электростанциях являются одной из основных причин парникового эффекта планеты. Одним из путей решения энергетических проблем и сохранения нашей планеты является энергосбережение.

Альтернативой использованию органического топлива являются установки на основе возобновляемых источников энергии.

Целью данного учебного пособия является закрепление полученных теоретических знаний по дисциплине «Нетрадиционные возобновляемые источники энергии», овладение методикой расчета основных параметров гелио-, ветроэнергетических, биогазовых, геотермальных и других установок и определения возможности их использования на примере климатических условий Челябинской области.

На основе анализа электроприборов и оборудования, используемого в быту, определяется его энергоэффективность, рассчитывается годовое потребление электроэнергии, затраты на это потребление. Полученные данные используются в последующих задачах для определения доли электроэнергии, которая может быть замещена за счет того или иного вида возобновляемого источника энергии.

В пособии представлены варианты задач, методика расчета, приведены примеры решения.

Данные, необходимые для решения задач, представлены в приложении.

ТЕМА 1. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Вопросы энергосбережения относятся к наиболее актуальным проблемам современности. На уровне правительств ряда государств разрабатываются специальные программы, призванные предотвратить энергетический кризис.

Экономить энергию должно все человечество, и каждый человек в отдельности. Сэкономленную энергию можно использовать взамен вновь производимой, и за счет этого же снизить загрязнение окружающей среды. Кроме того, энергосбережение выгодно экономически. Мероприятия по экономии энергоресурсов в 2,5–3 раза дешевле, чем производство и доставка потребителям такого же количества вновь полученной энергии.

Анализ потребления электроэнергии в быту, на своем рабочем месте, на производстве, расчет затрат на нее, позволит выработать бережное и экономное отношение к энергии.

Задача студента – научиться разбираться в электроприборах, применяемых в быту, проводить анализ эффективности их использования, делать выводы и предпринимать меры по экономии электрической энергии.

Задача 1.1. Изучить характеристику электробытовых приборов и оборудования для индивидуального использования, определить режим их работы в течение суток по месяцам, рассчитать потребление электрической энергии электробытовыми приборами и годовые затраты на электроэнергию, сделать выводы.

Методика расчета

1. Изучить характеристики электробытовых приборов, объединить в группы (осветительные, нагревательные, прочие), определить их количество, установленную мощность и режим работы. Для удобства расчетов полученные данные рекомендуется занести в табл.1.1.

Таблица 1.1

Характеристики электробытовых приборов

Оборудование	Р _{уст} , Вт	Кол- во к, шт.	Месяцы												Р _{сум} приб, Вт
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
			Время работы в сутки, t _p ч.												
Осветит. приборы															
Нагреват. приборы															
Прочие приборы															

2. Суммарная мощность приборов по группам потребителей определяется:

$$P_i = P_{уст_i} \cdot k_i, \text{ Вт}, \quad (1.1)$$

где $P_{уст}$ – установленная мощность электроприбора, Вт; k – количество приборов данного класса.

Данные расчетов заносятся в табл.1.1.

Для дальнейших расчетов рекомендуется заполнить таблицу 1.2.

Таблица 1.2

Расчет расхода электроэнергии

Оборудование	Р, Вт	Кол- во	Месяцы												Потр., кВт·ч
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
			Время работы прибора в месяц, ч												
Осветит. приборы															
Нагреват. приборы															
Прочие приборы															

3. Рассчитывается время работы каждой группой приборов в месяц:

$$T_i = t_{pi} \cdot N_i, \text{ ч}, \quad (1.2)$$

где t_{pi} – время работы i -го прибора в сутки, ч; N_i – количество дней, в которых прибор работал t_p часов в сутки.

4. Рассчитывается потребление электрической энергии каждой из групп приборов за 12 месяцев:

$$P_i = \frac{\sum_{i=1}^{12} T_i \cdot P_i}{1000}, \text{ кВт·ч}. \quad (1.3)$$

5. Рассчитывается суммарное годовое потребление электроэнергии всеми группами приборов:

$$P_r = \sum_{i=1}^{12} P_1 + P_2 + \dots + P_n, \text{ кВт·ч}. \quad (1.4)$$

6. Определяются годовые затраты на электроэнергию:

$$З = P_r \cdot Ц, \text{ руб}, \quad (1.5)$$

где $Ц$ – стоимость 1кВт·ч электроэнергии (тариф).

Данные расчетов занести в табл.1.2.

7. Рассчитывается процент потребления энергии каждой из групп потребителей от общего потребления электроэнергии.

8. Делается анализ эффективности использования электроприборов и предлагаются мероприятия по экономии электроэнергии.

Пример расчета

Исходные данные:

Жилой частный дом с набором необходимых для жизнедеятельности электроприборов.

1. Изучив характеристики всех электроприборов, находящихся в доме (приложение 1) и сгруппировав их по назначению, заносим данные в таблицу 1.3.

2. Суммарная мощность приборов

– для ламп накаливания:

$$P_i = P_{\text{ум}i} \cdot k_i = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт},$$

– для люминесцентных ламп:

$$P_i = P_{\text{ум}i} \cdot k_i = 60 \cdot 3 = 180 \text{ Вт}.$$

Для других приборов расчет аналогичный.

3. Время работы каждой группой приборов в январе:

– для ламп накаливания:

$$T_i = t_{pi} \cdot N_i = 8 \cdot 31 = 248 \text{ ч},$$

– для люминесцентных ламп:

$$T_i = t_{pi} \cdot N_i = 8 \cdot 31 = 248 \text{ ч}.$$

Для других приборов и месяцев расчет аналогичный.

4. Потребление электрической энергии каждой из групп приборов за 12 месяцев:

– для группы осветительных приборов:

$$P_i = \frac{\sum_{i=1}^{12} T_i \cdot P_i}{1000} = \frac{724 \cdot 900 + 724 \cdot 180}{1000} = 1861,92 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Для других групп приборов расчет аналогичный.

5. Суммарное годовое потребление электроэнергии всеми группами приборов:

$$P_r = \sum_{i=1}^{12} P_i + P_2 + \dots + P_n = 1861,92 + 438 + 1661,15 = 3961,07 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

6. Годовые затраты на электроэнергию при стоимости электроэнергии 0,91 руб. за 1 кВт·час:

$$Z = P_r \cdot C = 3961,07 \cdot 0,91 = 3604,57 \text{ руб}.$$

Таблица 1.3

Характеристики электробытовых приборов

ОБОРУДОВАНИЕ		P _{уст.} , Вт.	Кол-во, шт	Месяцы												P _{сум} приб, Вт		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
					Время работы в сутки, ч.													
Осветительные приборы	лампы накалив.	150	6	8	8	6	6	2	1	1	1	4	4	8	8	P1.1 =	900	
	люминесц. лампы	60	3	8	8	6	6	2	1	1	1	4	4	8	8	P1.2 =	180	
Нагревательные приборы	электроутюг	1200	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	P2.1 =	1200	
	печь микровол.	1500	1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	P2.2 =	1500	
Прочие приборы	телевизор	300	1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	P3.1 =	300	
	машина стир.	1050	1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	P3.2 =	1050	
	системный блок	230	1	4	4	4	4	4	3	3	3	3	5	5	5	P3.3 =	230	
	монитор	65	1	4	4	4	4	4	3	3	3	3	5	5	5	P3.4 =	65	
	принтер	300	1	4	4	4	4	4	3	3	3	3	5	5	5	P3.5 =	300	

Таблица 1.4

Расчет расхода электроэнергии

ОБОРУДОВАНИЕ		P _{уст.} , Вт.	Кол-во, шт	Месяцы												П, кВт-ч	П _г , кВт-ч.	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
					Время работы прибора в месяц, час													
Осветительные приборы	лампы накалив.	150	6	248	224	186	180	62	30	31	31	120	124	240	248	1551,60	1861,92	
	люминесц. лампы	60	3	248	224	186	180	62	30	31	31	120	124	240	248	310,32		
Нагревательные приборы	электроутюг	1200	1	7,75	7	7,75	7,5	7,75	7,5	7,75	7,75	7,5	7,75	7,5	7,75	109,50	438,00	
	печь микровол.	1500	1	18,6	16,8	18,6	18	18,6	18	18,6	18,6	18	18,6	18	18,6	328,50		
Прочие приборы	телевизор	300	1	186	168	186	180	186	180	186	186	180	186	180	186	657,00	1661,15	
	машина стирал.	1050	1	12,4	11,2	12,4	12	12,4	12	12,4	12,4	12	12,4	12	12,4	153,30		
	системный блок	230	1	124	112	124	120	124	90	93	93	90	155	150	155	328,90		
	монитор	65	1	124	112	124	120	124	90	93	93	90	155	150	155	92,95		
	принтер	300	1	124	112	124	120	124	90	93	93	90	155	150	155	429,00		
					Итого:												3961,07	3961,07

7. Процент потребления энергии каждой из групп потребителей от общего потребления электроэнергии составляет:

- для осветительных приборов – 47 %;
- для нагревательных приборов – 11,06 %;
- для прочих приборов – 41,94 %.

ТЕМА 2. ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА

2.1. Использование энергии солнца для получения тепловой энергии

Наиболее оптимальная область использования солнечной энергии – это нагрев воды и воздуха, горячее водоснабжение и отопление помещений. Устройство, преобразующее энергию солнца в тепловую энергию, называется солнечный коллектор (СК). Работа СК основана на принципе тепличного эффекта. Солнечное излучение, попадая на зачерненный теплообменник СК через прозрачное покрытие, нагревает теплоноситель. В качестве теплоносителя может быть воздух, вода и пр.

Солнечные коллекторы используются для получения горячей воды и отопления помещений. Температура нагрева воды зависит от времени года, географической широты местности, угла наклона коллектора к горизонту, а также конструктивных и режимных параметров самого солнечного коллектора.

При расчетах и выборе СК температура окружающего воздуха для условий Южного Урала для апреля и сентября принимается равной 10 °С (283 °К), для мая – 15 °С (288 °К), июня, июля-августа – 20 °С (293 °К).

Задача 2.1.

Рассчитать площадь солнечного коллектора для обеспечения потребителя горячей водой в условиях Южного Урала в количестве m килограмм в сутки с заданной температурой T_K , °К в летний период (с мая по август). Определить количество коллекторов n для выработки необходимого объема горячей воды и рассчитать их стоимость. Исходные данные для расчета взять из табл. П.2.1 приложения 2. Расчет провести для каждого месяца заданного периода.

Методика расчета.

1. Определяется количество удельной энергии, вырабатываемой солнечным коллектором в условиях Южного Урала в летний период для каждого месяца:

$$Q_{\text{с.год.}i} = K_f \left[H \cdot \tau - \frac{T_{\text{II}} - T_{\text{о.с.}}}{R_{\text{II}}} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \right], \text{ МДж/м}^2, \quad (2.1)$$

где K_f – коэффициент переноса солнечной энергии к жидкости. Этот коэффициент показывает долю теплового потока $Q_{в.уд.}$, передаваемого воде, и в расчетах принимается равным 0,85; H – суммарная солнечная дневная радиация на горизонтальную поверхность; τ – коэффициент пропускания солнечного излучения прозрачным покрытием (с учетом поглощения солнечного излучения поверхностью коллектора принимаем $\tau = 0,9$ – для одинарного стеклянного покрытия, $\tau = 0,8$ для двойного стеклянного покрытия, $\tau = 0,81$ для силикатного стекла); T_{II} – температура приемной поверхности коллектора, $^{\circ}K$; $T_{о.с.}$ – температура окружающей среды, $^{\circ}K$; R_{II} – термическое сопротивление приемной поверхности типичного коллектора ($R_{II} = 0,13 \text{ м}^2 \text{ }^{\circ}K/Вт$ – для одинарного стекла, $R_{II} = 0,22 \text{ м}^2 \text{ }^{\circ}K/Вт$ – для двухслойного стекла; $R_{II} = 0,4 \text{ м}^2 \text{ }^{\circ}K/Вт$ – для силикатного стекла).

Суммарная дневная солнечная радиация на горизонтальную поверхность определяется:

$$H = H_o \left(a + v \frac{S}{S_o} \right), \text{ МДж/м}^2, \quad (2.2)$$

где H_o – коэффициент, принимаемый равным эталонному (атмосферному) значению солнечной радиации ($1360 \text{ Вт/м}^2 = 1,36 \text{ кВт/м}^2$). Учитывая, что $1 \text{ кВт} = 3,6 \text{ МДж}$, для каждого месяца этот коэффициент будет равен $H_o = 1,36 \cdot 3,6 \text{ МДж/м}^2$; a и v – постоянные коэффициенты для заданного района; S – действительная продолжительность солнечного сияния для заданного района, ч; S_o – возможная продолжительность солнечного сияния, ч.

Значения коэффициентов a , v и S_o для Челябинской области берутся из таблицы П.2.2. для каждого расчетного месяца; среднее значение S – по таблице П.2.3.

Температура приемной поверхности коллектора рассчитывается по выражению:

$$T_{II} = \frac{T_{о.с.} + T_B}{2}, \text{ }^{\circ}K, \quad (2.3)$$

где T_B – температура воды в баке-аккумуляторе к концу дня (в расчетах принимается равной заданной конечной температуре T_K).

2. Определяется количество энергии для нагрева необходимого количества воды в сутки до заданной температуры для каждого месяца расчетного периода i :

$$Q_{ni} = m \cdot C (T_K - T_H) \cdot 10^{-3}, \text{ МДж}, \quad (2.4)$$

где m – масса горячей воды, кг; C – теплоемкость воды ($C = 4,19 \text{ кДж/кг} \cdot \text{ }^{\circ}K$); T_K – конечная температура нагрева, $^{\circ}K$; T_H – начальная температура нагрева (принимается равной температуре окружающей среды для расчетного периода времени).

3. Площадь солнечного коллектора определяется отношением

$$P_{СК} = \frac{Q_{нi}}{Q_{e, \cdot yd.i}}, \text{ м}^2. \quad (2.5)$$

4. Исходя из расчетной площади СК, определяется количество коллекторов n для расчетного периода времени использования. Для расчета принимаем площадь одного коллектора $0,8 \text{ м}^2$.

5. Рассчитывается стоимость требуемого количества коллекторов по их максимальному значению из расчетных месяцев.

6. Сделать вывод о целесообразности использования энергии солнца для нагрева воды в условиях заданного района.

Пример расчета

Исходные данные:

Населенный пункт: г. Челябинск;

Масса горячей воды, $m = 10 \text{ кг}$;

Конечная температура нагрева, $T_K = 70 \text{ }^\circ\text{C}$;

Вид стеклянного покрытия – одинарное;

Расчетный период – с мая по август.

1. Суммарная солнечная радиация для мая:

$$H_5 = H_o \left(a + e \frac{S}{S_o} \right) = 4,9 \left(0,12 + 0,54 \cdot \frac{8,6}{16} \right) = 2,01 \text{ МДж/м}^2.$$

2. Температура приемной поверхности СК:

$$T_{\Pi} = \frac{T_{oc} + T_{б}}{2} = \frac{288 + 343}{2} = 315,5 \text{ }^\circ\text{К}.$$

3. Количество удельной энергии, вырабатываемой солнечным коллектором в летний период за май:

$$Q_{e, yd.5} = K_f \left[H \cdot \tau - \frac{T_{\Pi} - T_{oc}}{R_{\Pi}} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \right] = 0,85 \left[2,01 \cdot 0,9 - \frac{315,5 - 288}{0,13} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \right] = 0,89 \text{ МДж/м}^2.$$

4. Количество энергии для нагрева воды в сутки до заданной температуры для мая:

$$Q_{n5} = m \cdot C \cdot (T_K - T_H) \cdot 10^{-3} = 10 \cdot 4,19 \cdot (43 - 288) \cdot 10^{-3} = 2,3 \text{ МДж}.$$

Для других месяцев Q_n определяется аналогичным образом.

5. Площадь солнечного коллектора:

$$P_{СК} = \frac{Q_{ni}}{Q_{в. \cdot \text{год.}i}} = \frac{2,3}{0,89} = 2,58 \text{ м}^2.$$

6. Количество солнечных коллекторов для мая:

$$n_5 = \frac{2,58}{0,8} = 3,2 \text{ шт.}$$

Для других месяцев расчет количество СК аналогичный. Для рекомендации к установке принимаем наибольшее количество СК, полученное для каждого из месяцев. Для нашего расчета $n=4$ шт.

Стоимость четырех солнечных коллекторов определяется по действующим на момент расчета ценам завода-изготовителя

2.2. Использование энергии солнца для получения электрической энергии

Солнечная энергия преобразуется в энергию электрическую с помощью солнечных фотоэлектрических установок, действие которых основано на явлении фотоэффекта. Солнечные элементы (СЭ) или фотоэлементы, служат для пространственного преобразования зарядов и создания ЭДС в полупроводниковом переходе. Современные фотоэлементы практически полностью основаны на кремнии. Наиболее распространены кристаллические фотоэлементы. Они обычно имеют синий цвет с отблеском. Аморфные и некристаллические имеют гладкий вид и в зависимости от угла зрения меняют цвет. Монокристаллический кремний имеет лучшие характеристики, чем поликристаллический, но дороже его. Аморфный кремний обладает значительно худшими характеристиками и применяется в основном в небольших несиловых приборах (часы, калькуляторы).

Мощность солнечных элементов, как правило, небольшая, и составляет в среднем 0,7–0,75 Вт. Для получения большей мощности СЭ соединяют между собой последовательно, образуя солнечные модули (СМ), которые далее могут собираться в солнечную батарею (СБ). Необходимо учитывать, что при последовательном соединении элементов неизбежны потери мощности. Коэффициент $\eta_{ДР}$, учитывающий эти потери принимается в расчетах равным 0,95–0,99. Коэффициент, определяющий потери энергии при передаче ее к потребителю (потери в инверторе, зарядном устройстве и др.) составляет $\eta_{ДЭ} = 0,9$.

Форма солнечных элементов может быть прямоугольной, квадратной, а также псевдоквадратной или псевдокруглой. Форма определяет коэффициент

заполнения площадки солнечного модуля. Для прямоугольных и квадратных и псевдоквадратных СЭ этот коэффициент равен $K_{зан}=0,95-0,99$; для круглых $K_{зан}=0,85$.

К.П.Д. преобразования солнечных лучей в электрическую энергию зависит от материала солнечного элемента, его многослойности и температуры окружающей среды. Для однослойных кремниевых монокристаллических СЭ η_K составляет 10–15 %, для поликристаллических СЭ $\eta_K=8-12$ %, для аморфного кремния $\eta_K=6-8$ %. Температура окружающей среды определяется периодом года. Для условий Южного Урала она составляет: для марта и октября $+5$ °С, для апреля, сентября $+10$ °С, мая $+15$ °С, июня, июля, августа $+20$ °С.

Мощность СЭ может быть определена из вольт-амперной характеристики (ВАХ). ВАХ солнечного элемента, (модуля, батареи) – это зависимость между током нагрузки и напряжением на клеммах солнечного фотоэлектрического элемента при постоянных значениях температуры солнечных элементов и интенсивности поступающего солнечного излучения (рис.2.1).

Стандартные условия испытаний солнечного элемента, модуля, батареи STC (Standard test conditions for solar cell, module, array) - это условия испытаний, регламентированные по плотности потока солнечной энергии $R=1000$ Вт/м² и температуре фотоэлектрических солнечных элементов (25 ± 2) °С.

На ВАХ солнечного элемента можно выделить две характерные точки:

1. Точка холостого хода, когда напряжение максимальное, равно напряжению холостого хода ($U=U_{max}=U_{x.x.}$). При этом ток равен $I=0$;
2. Точка короткого замыкания ($U=0$; $I=I_{max}=I_{к.з.}$).

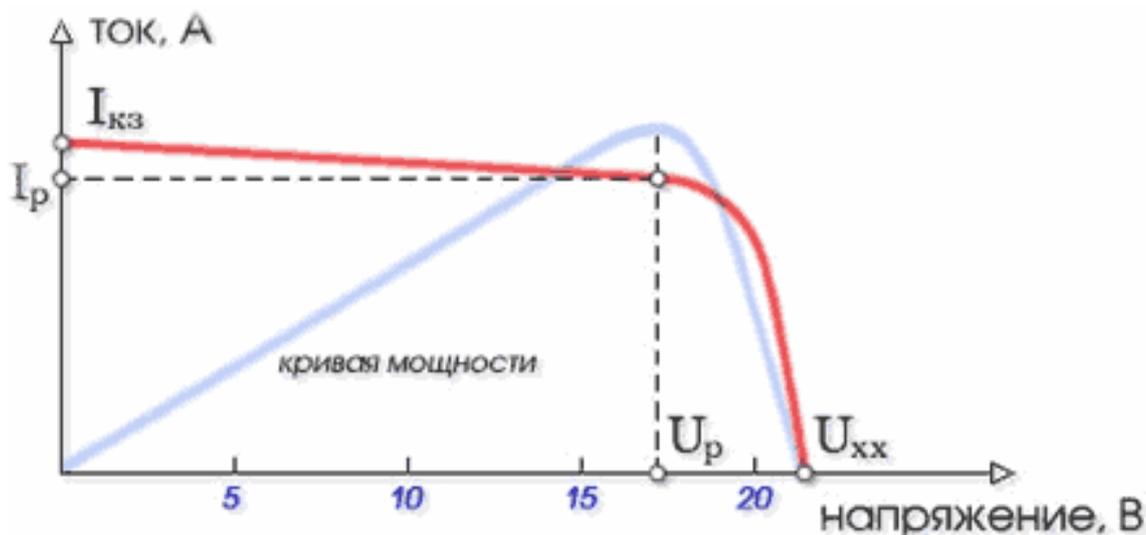


Рис.2.1. Вольт-амперная характеристика солнечного фотоэлемента

Мощность солнечного элемента определяется произведением $P=U I$, Вт, поэтому в точках 1 и 2 она равна 0.

Задача 2.2

Определить характеристики СМ типа PSM4-150 на кремниевых монокристаллических солнечных элементах и рассчитать его К.П.Д. в зависимости от мощности. Рассчитать выработку электроэнергии солнечной батареей, состоящей из m модулей на площадке, расположенной под углом β к горизонту в заданный период времени для условий Южного Урала. Определить процент валового потенциала солнечной радиации, используемого солнечным модулем на 1 м^2 этого модуля. Сделать выводы о целесообразности использования СМ для получения электрической энергии в условиях Южного Урала. Данные для расчета взять из табл. П 2.4 и П 2.5 приложения 2.

Методика расчета

1.К.П.Д. одного солнечного модуля определяется:

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{пол}}}, \quad (2.6)$$

где P – мощность, определяемая по ВАХ солнечного модуля (Рис. П 2.1. приложения 2).

Для удобства расчетов СМ данные ВАХ рекомендуется внести в таблицу 2.1, отметив точки холостого хода и короткого замыкания.

Полезная мощность $P_{\text{пол}}$ определяется:

$$P_{\text{пол}} = R F_{\text{СМ}}, \quad (2.7)$$

где R – уровень освещенности, Вт/м² (приложение 2, рис.П.2.1); $F_{\text{СМ}}$ – площадь солнечного модуля, которая определяется по выражению:

$$F_{\text{СМ}} = F_{\text{СЭ}} \cdot n \cdot K_{\text{зан}}, \text{ м}^2, \quad (2.8)$$

где $F_{\text{СЭ}}$ – площадь одного солнечного элемента, м²; n – количество солнечных элементов в модуле; $K_{\text{зан}}$ – коэффициент заполнения солнечными элементами площади солнечного модуля. Значения $F_{\text{СЭ}}$, n и $K_{\text{зан}}$ взять из табл. П.2.6. приложения 2.

Результаты расчета для каждой точки характеристики рекомендуется занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Результаты расчета основных энергетических характеристик СМ

I, А									
U, В									
P, Вт									
η , %									

По данным таблицы построить зависимость $\eta=f(P)$. Определить максимальное значение К.П.Д. при соответствующем значении мощности.

2. Выработка электрической энергии солнечным модулем в i -том месяце определяется:

$$\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_{вал} \cdot F_{CM} \cdot m \cdot \eta_K \cdot K_t \cdot \eta_{\Delta P}^m \cdot \eta_{\Delta \mathcal{E}}^m, \text{ кВт ч,} \quad (2.9)$$

где $\mathcal{E}_{вал}$ – валовой удельный приход солнечной радиации на рассматриваемую площадку, кВт ч/м² (табл.П. 2.5); m – количество модулей в солнечной батарее; η_K – К.П.Д. кремниевого солнечного элемента (берется максимальное значение по ВАХ СМ); K_t – коэффициент, учитывающий влияние температуры солнечного модуля на его К.П.Д.; $\eta_{\Delta P}^m$, $\eta_{\Delta \mathcal{E}}^m$ – соответственно потери мощности, определяемые последовательным соединением элементов и передачей энергии до потребителя.

Коэффициент, учитывающий влияние температуры солнечного модуля на его К.П.Д. определяется из выражения:

$$K_t = 1 - [\alpha(T - T_0)], \quad (2.10)$$

где T – температура окружающей среды для заданного месяца, °К; $T_0 = 25$ °С – стандартная температура солнечного элемента; α – градиент изменения К.П.Д. СЭ от изменения температуры.

Для кремниевых солнечных элементов он определяется:

$$\alpha = \frac{\eta_K}{120}, \quad (2.11)$$

где η_K – К.П.Д. солнечного элемента для расчетных условий (берется максимальное значение).

Выработка электрической энергии рассчитывается для месяцев, указанных в задании.

3. Процент использования валового потенциала определяется отношением полученной выработки электрической энергии солнечным модулем на 1м² модуля к валовому удельному приходу солнечной радиации для каждого месяца.

$$И = \frac{\mathcal{E}_i}{\mathcal{E}_{вал.i}} 100\% . \quad (2.12)$$

Пример расчета

Исходные данные:

Расчетный месяц: июль;

Температура окружающей среды, $T = +20$ °С;

Угол наклона солнечной батареи к горизонту, $\beta = 58^\circ$;

Количество модулей, $m = 3$.

1. Разбиваем ВАХ на несколько точек, включая точки х.х и к.з. Для каждой точки по значению тока определяем соответствующее значение напряжения. Данные заносим в таблицу 2.1. По этим данным определяется мощность солнечного модуля. Так, для тока $I=1,5$ А, напряжение равно $U=34$ В. Тогда мощность в этой точке характеристики:

$$P=U I=34 \cdot 1,5 = 51 \text{ Вт.}$$

Аналогично определяются все остальные значения мощности. Данные заносятся в таблицу 2.1.

2. Площадь солнечного модуля:

$$F_{CM} = F_{CЭ} \cdot n \cdot K_{зан} = 0,0156 \cdot 72 \cdot 0,97 = 1,09 \text{ м}^2.$$

3. Полезная мощность:

$$P_{пол} = R F_{CM} = 800 \cdot 1,09 = 872 \text{ Вт.}$$

4. К.П.Д. солнечного модуля для мощности $P=51$ Вт:

$$\eta = \frac{P}{P_{пол}} = \frac{51}{872} = 0,058.$$

Для остальных точек расчет аналогичный.

5. По данным таблицы 2.1 строим зависимость $\eta=f(P)$ и определяем максимальное значение коэффициента полезного действия. Для нашего случая он равен 11,3 %.

6. Градиент α изменения К.П.Д. СЭ от изменения температуры:

$$\alpha = \frac{\eta_K}{120} = \frac{11,3}{120} = 0,094.$$

7. Коэффициент, учитывающий влияние температуры СМ на его К.П.Д:

$$K_t = 1 - [\alpha(T - T_0)] = 1 - [0,094(293 - 298)] = 1,47.$$

8. Выработка электрической энергии солнечной батареей в июле:

$$\mathcal{E}_7 = \mathcal{E}_{вал} \cdot F_{CM} \cdot m \cdot \eta_K \cdot K_t \cdot \eta_{\Delta P}^m \cdot \eta_{\Delta Э}^m = 145,2 \cdot 1,09 \cdot 3 \cdot 0,113 \cdot 1,47 \cdot 0,97 \cdot 0,9 = 68,8 \text{ кВт ч.}$$

9. Использование валового потенциала на 1 м^2 модуля для июля составляет:

$$И_7 = \frac{\mathcal{E}_7}{\mathcal{E}_{вал.7}} \cdot 100 = \frac{68,8}{145,2} \cdot 100 = 47\% .$$

Т.е, эффективность использования энергии солнца для получения электрической энергии с помощью солнечных батарей из трех модулей в июле месяце составляет менее 50 %.

ТЕМА 3. ЭНЕРГИЯ ВЕТРА

3.1. Характеристика ветра и повторяемость скоростей ветра для заданного района

Ветер – это перемещение воздушных масс относительно поверхности земли в результате неравномерного нагрева и перераспределения атмосферного давления. Основными характеристиками ветра являются его направление и средняя скорость за определенный период времени.

Энергетические и аэрологические характеристики ветровой энергии для конкретного региона отражены в ветроэнергетическом кадастре.

Энергетическими характеристиками ветра являются валовой, технический и экономический ресурсы или потенциалы ветра.

Расчет зависимости мощности, развиваемой ВЭУ от скорости ветра производится по средним значениям скоростей по градациям, начиная от минимальной. Данные по градациям скоростей по Челябинской области представлены в Приложении 3.

В Челябинской области имеется 4 ветровые зоны. К первой зоне относится горный район (Кусинский), среднегодовые скорости ветра в котором превышают 4 м/с. Ветропотенциал этого района составляет 103 МВт ч/м² в год. Вторая зона, к которой относятся Октябрьский, Троицкий, Чесменский, Варненский, Карталинский, Брединский, Кизильский, Агаповский, Увельский, Аргаяшский районы имеет потенциал 12,9 МВт ч/м² в год при среднегодовой скорости ветра 3–4 м/с. Город Челябинск, а также Сосновский, Верхнеуральский, Нагайбакский, Каслинский и Нязепетровский районы относятся к третьей ветровой зоне, имеющей средние скорости 3 м/с. с потенциалом 6,63 МВт ч/м² в год.

Четвертая зона считается бесперспективной для ветроэнергетики, т.к. среднегодовые скорости ветра не превышают 2 м/с. К ней относятся Ашинский, Катав-Ивановский и Саткинский районы.

Данные по среднегодовой скорости ветра получены путем ее измерения на стандартной высоте 10 м. Если в расчетах высота башни ВЭУ отличается от стандартной, то необходимо произвести перерасчет мощности с учетом поправочного коэффициента по высоте K_H . Если высота башни находится в пределах 8–10 м, перерасчета мощности не требуется.

Задача 3.1. Определить количество энергии, которую может выработать ветроэнергетическая установка за год с учетом повторяемости скоростей ветра по градациям в заданном районе Челябинской области. Данные для расчета представлены в табл.3.1., повторяемость скоростей ветра – в табл.3.2. приложения 3.

Методика расчета

1. Рассчитывается количество энергии, которая может быть выработана ветроустановкой для каждого месяца с удельной ометаемой площади с учетом повторяемости скоростей для заданного района:

$$W_{y\delta}^M = \beta T \left(\sum_{v_{min}}^{v_p} v_i^3 \cdot t^* + v_p^3 \sum_{v_p}^{v_{max}} t^* \right), \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2, \quad (3.1)$$

где $\beta = 2 \cdot 10^{-4}$ – коэффициент, учитывающий характеристики ветра; T – число часов работы ВЭУ в месяце, ч; v_i – средняя скорость в градации, м/с; v_p – рабочая скорость ветроустановки, м/с; v_{max} – максимальная скорость ветроустановки, м/с; v_{min} – минимальная скорость ветроустановки, м/с t^* – повторяемость скорости ветра для данной градации.

2. Определяется полная вырабатываемая энергия для каждого месяца

$$W_{BЭУ}^M = W_{y\delta}^M \frac{\pi D^2}{4}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (3.2)$$

где D – диаметр ветроколеса, м.

3. Определяется полная энергия, вырабатываемая ветроустановкой за год

$$W_{BЭУ}^Г = \sum_{i=1}^n W_{BЭУ}^M, \text{ кВт}\cdot\text{ч}. \quad (3.3)$$

4. Построить зависимость выработанной ветроустановкой мощности от времени года $W_{BЭУ}^Г = f(m-u)$. Определить максимум выработки энергии.

Пример расчета

Исходные данные:

Район Челябинской области – город Златоуст;

Тип ВЭУ – ЛМВ-500;

Номинальная мощность, $P_{BЭУ} = 0,5$ кВт;

Минимальная скорость вращения $v_{min} = 3,0$ м/с;

Рабочая скорость вращения $v_p = 7,0$ м/с;

Максимальная скорость вращения $v_{max} = 30$ м/с;

Диаметр ветроколеса, $D = 3,0$ м.

1. Количество энергии с удельной ометаемой площади, которую может выработать ВЭУ в январе в районе г. Златоуста с учетом повторяемости ветра в этом районе:

$$W_{y\delta}^M = \beta T \left(\sum_{v_{min}}^{v_p} v_i^3 \cdot t^* + v_p^3 \sum_{v_p}^{v_{max}} t^* \right) = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 31 \cdot 24 [(3^3 \cdot 0,31 + 4,5^3 \cdot 0,14 + 6,5^3 \cdot 0,05) + 7^3 (0,05 + 0,02 + 0,01 + 0 + 0 + 0)] = 9,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2.$$

Для других месяцев расчет ведется аналогично.

10. Полная энергия, вырабатываемая ВЭУ в январе:

$$W_{ВЭУ}^m = W_{yo}^m \frac{\pi D^2}{4} = 9,2 \cdot \frac{3,14 \cdot 3^3}{4} = 65,13 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Для других месяцев расчет аналогичный.

Полная энергия, которая может быть выработана ВЭУ за год в районе г. Златоуста определяется суммой энергий за каждый месяц.

3.2. Расчет мощности, вырабатываемой ветроустановкой

Для преобразования энергии ветра в механическую или электрическую энергию используются ветроэнергетические установки (ВЭУ). Механическая энергия, вырабатываемая ВЭУ, в основном используется для подъема воды. Электрическая энергия может производиться ВЭУ как для промышленного потребления, так и для бытовых нужд.

Конструктивно ВЭУ могут быть горизонтально–осевые и вертикально–осевые. Горизонтально–осевые ВЭУ в основном пропеллерного типа. По числу лопастей они могут быть одно, двух, трех и многолопастные. Ветроколесо таких установок вращается под действием подъемной силы крыла.

Коэффициент использования энергии ветра (критерий Бетца-Жуковского) зависит от величины потери скорости ветра при прохождении его через плоскость ветроколеса. Максимальное значение этого коэффициента равно 0,593, т.е. ветроустановкой может быть использовано чуть больше половины ветрового потока. Для реальных горизонтально–осевых ВЭУ $\xi=0,42$, для вертикально–осевых $\xi=0,38$.

Скорость ветра является определяющим параметром для расчета мощности ВЭУ, т.к. она находится в кубической зависимости от этой скорости. Работу ветроустановки характеризуют следующие скорости:

- v_{min} – минимальная(стартовая) скорость ветра, при которой ветроколесо начинает вращаться;
- v_p – расчетная (номинальная) скорость, при которой ветроустановка выходит на рабочий режим и развивает номинальную мощность;
- v_{max} - максимальная скорость ветра при которой ветроустановка должна быть отключена.

В диапазоне скоростей от v_{min} до v_p ВЭУ развивает тем большую мощность, чем больше скорость ветра. При скорости ветра $v \geq v_p$ устанавливается автоматически постоянный режим вращения ветроколеса с помощью специального регулировочного устройства. Если $v > v_{max}$, ветровой напор на ветроустановку становится критическим и по условию механической прочности происходит его останов за счет регулировки угла атаки лопастей.

Мощность, вырабатываемая ветроустановкой, отличается от мощности, развиваемой ветроколесом, на величину потерь при преобразовании утилизируемой энергии ветра в полезную энергию.

Выбор мощности ВЭУ определяется электрической нагрузкой электропотребителей, которые используются в рассматриваемом объекте. При этом следует учитывать, что все они практически никогда не включаются одновременно. Поэтому расчет ведется по средним показателям электропотребления. Кроме этого, потребление электроэнергии зависит и от времени суток. Например, в ночное время суток энергопотребление, как правило, снижается, а работа ветроустановки продолжается. Таким образом, следует предусмотреть аккумулирующие установки, позволяющие накапливать энергию в период снижения потребления и далее использовать накопленную энергию в период пиковых нагрузок.

Задача 3.2. Рассчитать мощность, вырабатываемую горизонтально-осевой ветроустановкой и построить зависимость вырабатываемой мощности от скорости ветра для заданного района Челябинской области. Данные для расчета взять из табл.П 3.1 приложения 3.

Методика расчета

1. Площадь, ометаемая ветроколесом равна:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ м}^2, \quad (3.4)$$

где D – диаметр ветроколеса, м.

2. Определяется мощность, вырабатываемая ветроустановкой:

$$P = \rho \frac{A}{2} v^3 \cdot \xi \cdot \eta, \text{ Вт}, \quad (3.5)$$

где ρ – плотность воздуха, равная $1,23 \text{ кг/м}^3$; v – скорость ветра, м/с; ξ – коэффициент использования энергии ветра; η – коэффициент, учитывающий потери при передаче мощности от вала ветроколеса до рабочей машины (К.П.Д. ВЭУ), который определяется:

$$\eta_n = \eta_p \eta_g \quad (3.6)$$

где η_p – К.П.Д. редуктора (механический К.П.Д.); η_g – К.П.Д. генератора. Для расчетов принимаем $\eta_n = 0,8$.

Мощность, вырабатываемая ветроустановкой, рассчитывается для всего диапазона скоростей, указанных в технической характеристике ВЭУ. Данные расчета мощности в интервале от v_{min} до v_p занести в табл.3.1.

Таблица 3.1

Результаты расчета зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра

v , м/с									
P , Вт									

По данным табл. 3.1 построить зависимость $P=f(v)$, указав на ней характерные точки: v_{min} , P_{min} , v_p , P_p ; v_{max} .

3. Определить годовую выработку электроэнергии W_G за счет ВЭУ.

$$W_G = \frac{P_{ВЭУ} \cdot T}{1000}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (3.7)$$

где T – время работы ветроустановки в год, ч.

4. Определить среднегодовую обеспеченность электроэнергией частного дома от ВЭУ:

$$\mathcal{E}_э = \frac{W_G}{P_G} 100\%. \quad (3.8)$$

Данные по годовому потреблению электроэнергии частным домом P_G взять из задачи 1.1.

5. Сделать выводы о целесообразности использования ВЭУ для заданного района.

Пример расчета

Исходные данные аналогичны задаче 3.1.

1. Площадь, ометаемая ветроколесом:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 9}{4} = 7,06 \text{ м}^2.$$

2. Мощность, вырабатываемая ветроустановкой при рабочей скорости вращения ветроколеса:

$$P = \rho \frac{A}{2} v^3 \cdot \xi \cdot \eta = 1,23 \cdot \frac{7,06}{2} \cdot 7^3 \cdot 0,42 \cdot 0,8 = 500,4 \text{ Вт}.$$

Аналогичным образом считается мощность для других скоростей ветра в диапазоне от v_{min} до v_p с интервалом в 1,0 м/с. Данные заносятся в таблицу 3.1, по которым строится зависимость $P=f(v)$.

3. Годовая выработка электроэнергии W_G за счет ВЭУ при условии постоянства среднегодовой скорости ветра $v=7$ м/с..

$$W_r = \frac{P_{ВЭУ} \cdot T}{1000} = \frac{500 \cdot 8760}{1000} = 4380 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

6. Среднегодовая обеспеченность электроэнергией частного дома от ВЭУ:

$$\mathcal{E}_3 = \frac{W_r}{P_r} 100\% = \frac{4380}{5760} \cdot 100\% = 76\% .$$

Т.е., потребность в электроэнергии электробытовых приборов в частном доме на 76% может быть обеспечена за счет ветроэнергетической установки.

ТЕМА 4. ЭНЕРГИЯ БИОМАССЫ

Биомасса, как производная энергии Солнца в химической форме, является одним из наиболее популярных и универсальных ресурсов на Земле. При рассмотрении энергетического потенциала к биомассе относят все формы материалов растительного происхождения, которые могут быть использованы для получения энергии: древесину, травяные и зерновые культуры, отходы лесного хозяйства и животноводства и т.д. Теплотворная способность сухой биомассы составляет около 14 МДж/кг. В момент образования (сбора урожая) биомасса содержит большое количество воды, от 8 до 20 % в пшеничной соломе, 30 – 60 % в древесине, до 75 – 90 % в навозе сельскохозяйственных животных и 95 % в водном гиацинте.

В процессе переработки биомассы за счет брожения выделяется биогаз, который представляет собой ценное, экологически чистое топливо.

Выход биогаза зависит от содержания сухого вещества и вида используемого сырья. Из тонны навоза крупного рогатого скота получается 40 – 50 м³ биогаза с содержанием метана 60 %.

Энергия, заключенная в 1 м³ биогаза эквивалентна 0,6 м³ природного газа, 0,74 м³ нефти и 0,66 л дизельного топлива.

В расчётах используется понятие сухого вещества (СВ). Вода, содержащаяся в биомассе, не даёт газа.

Производство биогаза происходит с помощью специальных устройств – биогазовых установок (БГУ). Основными компонентами БГУ являются: метантенк (реактор), газгольдер, система загрузки, система выгрузки, смесительная емкость и выпускной газопровод.

Различают 3 уровня брожения: низкий (до 20 °С) – психрофильное брожение; средний (32–34°С) – мезофильное брожение и высокий (52–55 °С) – термофильное брожение. Чем выше температура, тем лучше идет процесс брожения, однако при этом значительно возрастают затраты на подогрев.

Задача 4.1. Рассчитать объем биогазовой установки для фермерского хозяйства и выход биогаза при сбраживании навоза от животных. Процесс

брожения – мезофильный, загрузка биомассы – из помещения с температурой $t_{o.c.} = 15$ °С. Определить потенциальный запас энергии биогаза и количество теплоты для поддержания процесса брожения биомассы в метантенке. Определить, какой объем природного газа, нефти и дизельного топлива может заменить полученный объем биогаза. Исходные данные для расчета по вариантам взять в приложении 4, табл.П.4.1.

Методика расчета

1. Определяется выход навоза от каждого вида животных с учетом подстилки:

$$K_{\Pi_i} = 1,5 \cdot M_{\text{сут}_i} \cdot n, \text{ кг/сут}, \quad (4.1)$$

где 1,5 – коэффициент, учитывающий наличие подстилки; $M_{\text{сут}_i}$ – суточный выход навоза в зависимости от вида животных, кг/сут. (табл.П.4.2 приложения 4); n – количество голов.

2. Определяется суммарная доля сухого вещества (СВ) в навозе. Для каждого вида животных она равна:

$$M_{\text{СВ}_i} = K_{\Pi_i} \cdot W, \text{ кг/сут}, \quad (4.2)$$

где W – влажность навоза, о.е. (табл. П.4.2).

3. Определяется объем метантенка БГУ при использовании навоза от соответствующего вида животных в сутки:

$$V_M = \frac{M_{\text{СВ}_\Sigma}}{m_p}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (4.3)$$

где m_p – рекомендуемый объем загрузки СВ на м^3 метантенка, кг/ м^3 (из табл.П. 4.2 берется большее значение для заданного вида животных).

4. Доля сухого органического вещества (СОВ) в навозе для каждого вида животных:

$$M_{\text{СОВ}_i} = M_{\text{СВ}_i} \cdot P, \text{ кг/сут}, \quad (4.4)$$

где P – доля СОВ в сухом веществе навоза (табл.П.4.2).

5. Выход биогаза при полном разложении сухого органического вещества (СОВ):

$$V_{\Pi_i} = m_H \cdot M_{\text{СОВ}_i}, \text{ м}^3, \quad (4.5)$$

где m_H – выход биогаза из 1 кг СОВ в навозе, принимается равным 0,315–0,415 $\text{м}^3/\text{кг}$.

6. Суммарный выход биогаза при сбраживании биомассы для данного объема метантенка определяется:

$$V_B = \sum V_{Pi} \cdot m_{Bi} \cdot \rho_B, \text{ М}^3, \quad (4.6)$$

где m_{Bi} – доля выхода биогаза от исходного материала при данной продолжительности метанового брожения (табл.П.4.2).

7. Определяется объем метантенка при полной загрузке:

$$V_{П.з} = \frac{K_{П\Sigma} \cdot T}{\rho_H}, \text{ М}^3 \quad (4.7)$$

где $K_{П\Sigma}$ – суммарное значение для всех видов животных; T – продолжительность брожения, сут (берется наибольшее из рассматриваемых видов животных); ρ_H – удельная плотность сбраживаемой массы. Т.к., влажность навоза обычно близка к 90 %, ρ_H принимают равной $\rho_{воды} = 1000 \text{ кг/М}^3$.

8. Проверяется соответствие объема метантенка его полной загрузке:

– если $V_{П.з} \ll V_M$, значит, часть метантенка использоваться не будет, что экономически не выгодно.

– при $V_{П.з} = V_M$ может возникнуть проблема из-за забивания канала сбора биогаза пеной.

Рекомендуемое соотношение $V_{П.з}/V_M = 0,7 \dots 0,9$.

9. Потенциальный запас энергии биогаза, вырабатываемого в течение суток:

$$П_э = V_B \cdot C_B, \text{ МДж}, \quad (4.8)$$

где $C_B = 22 \text{ МДж/М}^3$ – теплотворная способность биогаза.

10. Определяется количество теплоты для поддержания режима брожения биомассы:

$$Q = K_{П} \cdot C_B \cdot (t_B - t_3) \cdot \frac{1}{\eta}, \text{ МДж/сут}, \quad (4.9)$$

где $K_{П}$ – суммарный выход навоза от всех видов животных, кг/сут.; C_B – средняя теплоемкость загружаемой биомассы, принимается равной $4,18 \times 10^3 \text{ МДж/кг} \cdot \text{°К}$; t_B – температура процесса брожения, °К; t_3 – температура загружаемой массы, принимается равной температуре окружающей среды, °К, η – К.П.Д. процесса, в расчетах принимается равным 0,7.

11. Определить, какой объем природного газа, нефти и дизельного топлива может заменить полученный объем биогаза.

Пример расчета

Исходные данные:

Вид животных: коровы – 20 гол.; свиньи – 10 гол.

1. Выход навоза с учетом подстилки:

– для коров:

$$K_{П1} = 1,5 \cdot M_{сум1} \cdot n = 1,5 \cdot 40 \cdot 20 = 1200 \text{ кг/сут.}$$

– для свиней:

$$K_{П2} = 1,5 \cdot M_{сум2} \cdot n = 1,5 \cdot 2 \cdot 10 = 30 \text{ кг/сут.}$$

2. Суммарная доля сухого вещества

– в навозе коров:

$$M_{СВ1} = K_{П1} \cdot W_{\text{св}} = 1200 \cdot 0,87 = 156 \text{ кг/сут.};$$

– в навозе свиней:

$$M_{СВ2} = K_{П2} \cdot W_{\text{св}} = 30 \cdot 0,9 = 3 \text{ кг/сут.}$$

3. Объем метантенка БГУ для двух видов животных:

$$V_M = \frac{M_{СВ\Sigma}}{m_p} = \frac{159}{6,0} = 26,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

4. Доля СОВ в навозе

– для коров:

$$M_{СОВ1} = M_{СВ1} \cdot P = 156 \cdot 0,8 = 124,8 \text{ кг/сут.};$$

– для свиней:

$$M_{СОВ2} = M_{СВ2} \cdot P = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ кг/сут.}$$

5. Выход биогаза при полном разложении сухого органического вещества (СОВ)

– для коров:

$$V_{П1} = m_H \cdot M_{СОВ1} = 0,365 \cdot 124,8 = 45,55 \text{ м}^3;$$

– для свиней:

$$V_{П2} = m_H \cdot M_{СОВ2} = 0,365 \cdot 2,4 = 0,87 \text{ м}^3.$$

6. Суммарный выход биогаза при сбраживании:

$$V_B = \sum V_{Pi} \cdot m_{Bi} = 45,55 \cdot 0,4 + 0,87 \cdot 0,5 = 18,65 \text{ м}^3.$$

7. Объем метантенка при полной загрузке:

$$V_{П.з} = \frac{K_{П\Sigma} \cdot T}{\rho_H} = \frac{1200 + 30 \cdot 17}{1000} = 20,9 \text{ м}^3.$$

8. Соотношение $\frac{V_{П.з.}}{V_M} = \frac{20,9}{26,5} = 0,79$, что соответствует рекомендуемой загрузке метантенка.

9. Потенциальный запас энергии биогаза, вырабатываемого в течение суток:

$$P_{\text{э}} = V_{Б\Sigma} \cdot C_B = 18,65 \cdot 22 = 410,3 \text{ МДж.}$$

10. Количество теплоты для поддержания режима брожения биомассы:

$$Q = K_{ГЭС} \cdot C_B \cdot t_3 \cdot \frac{1}{\eta} = 1230 \cdot 4,18 \cdot 10^{-3} \cdot 305 - 288 \cdot 1,4 = 122,4 \text{ МДж/сут.}$$

11. Эквивалент полученного объема биогаза другим видам топлива:

$$V_B = 18,65 \text{ м}^3 \equiv 11,2 \text{ м}^3 \text{ природного газа} \equiv 13,8 \text{ м}^3 \text{ нефти} \equiv 12,3 \text{ л дизельного топлива.}$$

ТЕМА 5 . ЭНЕРГИЯ МАЛЫХ РЕК

5.1. Расчет плотины гидроэлектростанции и параметров гидротурбины

Водная энергия является производной от энергии солнца и ветра. Этот источник энергии относится к возобновляемым, т.к. вода под действием солнца испаряется и далее снова выпадает в виде осадков. Для преобразования энергии воды в электрическую служат гидроэлектростанции.

К малым гидроэлектростанциям относятся ГЭС мощностью до 10 МВт. Они могут работать автономно на изолированного потребителя, а также параллельно с энергосистемой. ГЭС могут работать и в комплексе с ВЭУ, ГЭУ и др.

Основой для гидроэнергетических расчетов являются данные о режиме стока. Стоки бывают поверхностные и грунтовые. Поверхностные стоки представляют собой осадки, стекающие в пониженные места в виде ручьев и рек. Грунтовые стоки образуют подземные стоки. Площадь, с которой осуществляется сток в реку, есть водосборный бассейн реки. Линия, отделяющая один бассейн от другого, называется водоразделом.

В зависимости от потенциала все реки распределены на четыре группы. Первую группу составляют реки с потенциалом выше 1000 млн. кВт ч, третья и четвертая группы имеют потенциал менее 1000 млн. кВт ч. На территории Челябинской области насчитывается 3,5 тысячи рек, из них 90 % относятся к малым с протяженностью менее 10 км.

Основные параметры, определяющие потенциал реки – напор h и расход Q . Напор можно увеличить путем сооружения дамб, плотин (плотинные ГЭС). При строительстве плотин необходимо учитывать уклон реки i , который для равнинных рек составляет $i = 5-10$ см/км, для горных рек $i = 5-10$ м/км.

Задача 5.1. Рассчитать параметры плотины для равнинной реки с уклоном i , расходом Q и напором h . Определить необходимый запас воды в водоеме для нормальной работы турбин. Рассчитать мощность и выбрать тип гидротурбины, рассчитать ее параметры. Определить мощность гидрогенератора малой ГЭС и годовую выработку электроэнергии. Данные для расчета взять в табл.П5.1 приложения 5.

Методика расчета

1. Определяется длина плотины

$$L = \frac{h}{i}, \text{ км}, \quad (5.1)$$

где h – напор воды, м; i – уклон реки в соответствии с заданием.

2. Площадь водоема (зеркало воды) определяется:

$$S_B = 0,5L\ell \cdot 10^3, \text{ м}^2, \quad (5.2)$$

где ℓ – ширина берегов, принимается в расчетах $\ell = 0,01L$, м.

3. Определяется необходимый запас воды для нормальной работы гидротурбин:

$$G_B = 0,5S_B \cdot h, \text{ м}^3. \quad (5.3)$$

4. Определяется увеличение высоты плотины для дополнительного запаса воды в случае ее нехватки:

$$h_{\text{дон}} = \frac{G_B}{S_B}, \text{ м}. \quad (5.4)$$

5. Общая высота плотины

$$H = h + h_{\text{дон}}, \text{ м}. \quad (5.5)$$

6. Мощность плотины определяется:

$$P_{\text{пл}} = 9,81QH, \text{ кВт}, \quad (5.6)$$

где Q – расход воды в соответствии с заданием.

7. Мощность гидротурбины определяется с учетом потерь в гидроустановке:

$$P_T = 9,81QH\eta_T, \text{ кВт}, \quad (5.7)$$

где η_m = К.П.Д. турбины, в расчетах принимается равным 0,6...0,8.

8. По рассчитанному значению мощности P_T , по q и H по номограмме (рис.П5.1) определяем тип гидротурбины.

9. Рассчитаем параметры гидротурбины.

Для поперечно-струйной турбины:

– диаметр рабочего колеса

$$D = \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}}}, \text{ м}; \quad (5.8)$$

– ширина колеса

$$B = \frac{Q}{0,42D\sqrt{H}}, \text{ м}; \quad (5.9)$$

– частота вращения рабочего колеса:

$$n = 30\sqrt{\frac{2gH}{\pi D}}, \text{ об/мин.} \quad (5.10)$$

10. Мощность генератора малой ГЭС определяется:

$$P_G = P_T \cdot \eta_G \cdot \cos\varphi, \text{ кВт}, \quad (5.11)$$

где η_g – К.П.Д. генератора, принимается в расчетах равным 0,6–0,9, $\cos\varphi$ – коэффициент мощности генератора (принимается равным 0,6–0,9).

11. Годовая выработка электроэнергии малой ГЭС равна:

$$W = P_G \cdot T, \text{ кВт ч}, \quad (5.12)$$

где T – период работы малой ГЭС, ч.

Пример расчета.

Исходные данные:

Расход воды $Q=0,7 \text{ м}^3/\text{с}$;

Напор воды $h=5 \text{ м}$;

Уклон реки $i=0,06 \text{ м/км}$.

1. Длина плотины

$$L = \frac{h}{i} = \frac{5}{0,06} = 83300 \text{ м}.$$

2. Площадь водоема:

$$S_B = 0,5Ll \cdot 10^3 = 0,5 \cdot 83300 \cdot 0,83 \cdot 10^3 = 34,6 \cdot 10^6 \text{ м}^2.$$

3. Необходимый запас воды для нормальной работы гидротурбин:

$$G_B = 0,5S_B \cdot h = 0,5 \cdot 34,6 \cdot 10^6 \cdot 5 = 86,4 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$$

4. Увеличение высоты плотины для дополнительного запаса воды в случае ее нехватки:

$$h_{\text{дон}} = \frac{G_B}{S_B} = \frac{86,4 \cdot 10^6}{34,6 \cdot 10^6} = 2,5 \text{ м.}$$

5. Общая высота плотины:

$$H = h + h_{\text{дон}} = 5 + 2,5 = 7,5 \text{ м.}$$

6. Мощность плотины:

$$P_{\text{пл}} = 9,81QH = 9,81 \cdot 0,7 \cdot 7,5 = 51,5 \text{ кВт.}$$

7. Мощность гидротурбины с учетом потерь ($\eta_m=0,65$) составляет в гидроустановке:

$$P_T = 33,5 \text{ кВт.}$$

8. По номограмме (рис.П.5.1) значениям P_T , Q и H соответствует поперечно-струйный тип гидротурбины.

9. Параметры гидротурбины:

– диаметр рабочего колеса

$$D = \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}}} = \sqrt{\frac{0,7}{\sqrt{7,5}}} = 0,5 \text{ м.}$$

– ширина колеса

$$B = \frac{Q}{0,42D\sqrt{H}} = \frac{0,7}{0,42 \cdot 0,5 \cdot 2,74} = 1,2 \text{ м.}$$

– частота вращения рабочего колеса:

$$n = 30 \sqrt{\frac{2gH}{\pi D}} = 30 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 7,5}{3,14 \cdot 0,5}} = 290,4 \text{ об/мин.}$$

10. Мощность генератора малой ГЭС:

$$P_G = P_T \cdot \eta_G \cdot \cos \varphi = 33,5 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 21,4 \text{ кВт.}$$

11. Годовая выработка электроэнергии малой ГЭС:

$$W = P_G \cdot T = 21,4 \cdot 8760 = 187,8 \text{ МВт ч.}$$

5.2. Расчет гирляндной ГЭС

Для использования энергии реки без создания гидротехнических сооружений и специальных устройств для направления водного потока используются гирляндные ГЭС. ГГЭС представляет собой турбины малого диаметра, закрепленные по несколько штук на одном тросе, который является валом этих турбин. Турбины вращаются с тросом как одно целое. Увеличение мощности таких установок достигается не возрастанием размеров турбин, а увеличением их количества на одном тросе, а также увеличением количества гирлянд, работающих на один генератор.

Находясь в потоке, гирлянда турбин воспринимает значительное лобовое сопротивление, от которого зависит натяжение троса гирлянды. В растянутом состоянии трос передает крутящий момент турбин к генератору, находящемуся на берегу.

Турбины бывают поперечные и торцовые.

Поперечные турбины крепятся к тросу попарно. В каждой паре одна турбина повернута к другой по направлению вращения на 90° . Это сделано с целью выравнивания крутящего момента каждой пары турбин за один оборот. Поток воды, набегающий на турбину, создает лобовую силу давления. При этом с одной стороны от оси вращения он образует большее давление, чем с другой, от этого и возникает крутящий момент. Чем выше этот момент и скорость вращения турбины, тем выше ее мощность.

Торцовые турбины устанавливаются вдоль водного потока.

Гирляндные установки могут работать как у дна, так и у поверхности потока. Они могут работать на водных потоках со скоростями течения 1 м/с и более, глубиной от 0,3 м и выше, и шириной 0,5 м и более.

Гирляндные ГЭС могут быть установлены как на судоходных реках, так и на несудоходных. Одногирляндные установки при работе на скоростях течения в пределах 1,2–3 м/с, могут достигать 5-киловаттных мощностей. При скорости водного потока в 1 м/с мощность ГГЭС равна примерно 1 кВт.

Эти установки просты по устройству, легко переносимы, их монтаж производится в течение одного дня.

Задача 5.2. Рассчитать мощность гирляндной ГЭС состоящей из n поперечных турбин диаметром d . Общая длина гирлянды (активная часть) L , скорость течения водного потока v . Выбрать тип генератора гирляндной ГЭС. Данные для расчета представлены в табл.П.5.2. С учетом данных первой задачи (потребное количество энергии) рассчитать количество потребителей, которые могут быть обеспечены электроэнергией от микроГЭС.

Методика расчета

1. Мощность гирлянды определяется:

$$P_{зуп} = d \cdot L \cdot v^3 \cdot \eta_T, \text{ кВт}, \quad (5.13)$$

где d – диаметр поперечной турбины, м, L – длина активной части гирлянды, м; v – скорость течения водного потока, м/с, η_T – коэффициент, учитывающий потери энергии в турбине (для поперечных турбин $\eta_T=0,45-0,47$).

Длина активной части гирлянды L определяется произведением длины одной турбины l на их количество в гирлянде n .

2. Определяется линейная скорость вращения троса гирлянды:

$$n_T = \frac{60 \cdot v}{R}, \text{ об/мин}, \quad (5.14)$$

где R – радиус турбины, м.

3. Определяется мощность генератора

$$P_{ген} = P_{зуп} \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{ген}, \text{ кВт}, \quad (5.15)$$

где $\eta_{ред}$ – К.П.Д. редуктора, учитывающий потери в передаче ($\eta_{ред}=0,7-0,9$); $\eta_{ген}$ – К.П.Д. генератора ($\eta_{ген}=0,75-0,9$).

4. По полученному значению мощности из таблицы П.5.3 выбирается ближайший по характеристикам тип генератора, записывается его марка и параметры.

5. Определяется выработка электроэнергии гирляндной ГЭС за летний период:

$$W_T = P_{ген} \cdot 24 \cdot N_6 + N_7 + N_8, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (5.16)$$

где N – количество дней в соответствующем месяце.

6. Определить обеспеченность электроэнергией частного дома в % от потребной при условии непрерывной работы гирляндной ГЭС в течение года. Данные для расчета взять из задачи.1.1.

Пример расчета

Исходные данные:

Скорость водного потока $v=2,5$ м/с;

Диаметр турбины $d=0,3$ м;

Длина турбины $l=0,5$ м;

Количество турбин $n=5$.

1. Мощность гирлянды:

$$P_{зуп} = d \cdot L \cdot v^3 \cdot \eta_T = 0,3 \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot 2,5^3 \cdot 0,46 = 5,4 \text{ кВт}.$$

2. Линейная скорость вращения троса гирлянды:

$$n_T = \frac{60 \cdot v}{R} = \frac{60 \cdot 2,5}{0,15} = 1000 \text{ об/мин}.$$

3. Мощность генератора

$$P_{ген} = P_{зир} \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{ген} = 5,4 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 3,46 \text{ кВт.}$$

4. Из таблицы П.5.3 выбираем ближайший по характеристикам генератор типа ВС-18/8, номинальной мощностью $P_n=3,5$ кВт и скоростью $n=1000$ об/мин.

5. Выработка электроэнергии гирляндной ГЭС за летний период:

$$W_G = P_{ген} \cdot 24 \cdot (N_6 + N_7 + N_8) = 3,5 \cdot 24(30 + 31 + 31) = 7,73 \text{ МВт}\cdot\text{ч.}$$

6. При условии непрерывной работы гирляндной ГЭС в течение года, обеспеченность электроэнергией частного дома будет в несколько раз превосходить потребное значение в электроэнергии.

ТЕМА 6. ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

Геотермальная энергия представляет собой естественное тепло нашей планеты. Источником тепловой энергии являются процессы, происходящие в ядре Земли, т.е., геотермальная энергия—это энергия внутренних областей Земли

По мере движения от ядра к поверхности земли температура и давление понижаются.

Геотермальные ресурсы Земли и возможности их использования определяются температурой источника тепла и температурным градиентом.

Температурный градиент – q ($^{\circ}\text{C}/\text{км}$) показывает изменение температуры в слое земли на каждый километр. По этому показателю поверхность земли делится на 3 геотермальных района: гипертермальный, полутермальный и нормальный.

Гипертермальный ($q > 80$ $^{\circ}\text{C}/\text{км}$) – наиболее предпочтителен для строительства геотермальных электростанций. Полутермальный район имеет $q = 40\text{--}80$ $^{\circ}\text{C}/\text{км}$; качество геотермальной энергии невысокое, ее лучше использовать непосредственно для теплоснабжения зданий. Извлечение тепла в таких районах производится из естественных водоносных слоев или из раздробленных сухих пород. Малоперспективные области для использования энергии – нормальный район с температурным градиентом $q < 40$ $^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Это самые обширные районы с тепловыми потоками $0,06$ Вт/м².

Для расчета потенциала геотермальной энергии учитывается наличие водоносного слоя, в котором сосредоточена тепловая энергия, глубина его залегания и толщина этого слоя. Как правило, слой имеет пористую структуру, поры заполнены водой. Кроме этого, потенциал геотермальной энергии зависит от плотности твердых пород земной коры, его теплоемкости.

Задача 6.1. Исходя из заданного значения температурного градиента q , определить тип геотермального района. Определить теплоемкость водоносного

слоя C_{cl} и его температуру τ_{cl} при глубине залегания H при заданных характеристиках породы слоя. Определить возможное время использования слоя и тепловую мощность, извлекаемую из него в начале и через n лет эксплуатации. Площадь поверхности принять равной $F=1,0$ км², пористость породы пласта $\alpha=5$ %, удельную теплоемкость породы пласта $C_n=840$ Дж/(кг·°К). Данные для расчета приведены в приложении 6.

Методика расчета

1. По заданному значению температурного градиента q определяется тип геотермального района.

2. Определяется теплоемкость водоносного слоя для заданного термального района:

$$C_{cl} = F \cdot b \cdot \alpha \cdot \rho_w \cdot C_w + (1 - \alpha) \cdot \rho_n \cdot C_n, \text{ Дж/}^\circ\text{К}, \quad (6.1)$$

где F – площадь рассматриваемой поверхности, км²; b – толщина водоносного слоя, м; α – пористость породы, о.е.; $\rho_w = 1000$ кг/м³ – удельная плотность воды; $C_w = 4180$ Дж/(кг·°К) – удельная теплоемкость воды; ρ_n – удельная плотность породы, в расчетах принять $\rho_n = 2700$ кг/м³; C_n – удельная теплоемкость породы.

3. Исходная температура водоносного слоя определяется:

$$\tau_{cl} = \tau_{cp} + q \cdot H, \text{ }^\circ\text{К}, \quad (6.2)$$

где τ_{cp} – средняя температура на поверхности земли, которая принимается равной 10 °С; q – температурный градиент для заданного термального района, °С/км; H – глубина залегания водоносного слоя, км.

4. Определяется тепловой потенциал водоносного слоя

$$P_T = C_{cl} \cdot (\tau_{cl} - \tau_{\delta}), \text{ Дж}, \quad (6.3)$$

где τ_{δ} – минимально допустимая температура слоя, принимается равной 40°С.

5. Определяется возможное время использования слоя при отводе от него тепловой энергии:

$$t_0 = \frac{C_{cl}}{V \cdot \rho_w \cdot C_w}, \text{ лет}, \quad (6.4)$$

где V – объемный расход воды при ее закачке для отвода тепла, принимаем в расчетах равным 0,1 м³/(с·км²).

6. Определяется тепловая мощность, извлекаемая из слоя в начале эксплуатации:

$$\left(\frac{dP_T}{dt} \right)_{t=0} = \frac{P_T}{t_0} \cdot e^{\frac{t}{t_0}}, \text{ МВт}. \quad (6.5)$$

7. Определяется тепловая мощность, извлекаемая из пласта через n лет эксплуатации:

$$\left(\frac{dP_T}{dt}\right)_{t=n} = \frac{P_T}{t_0} \cdot e^{-\frac{t}{t_0}}, \text{ МВт.} \quad (6.6)$$

Пример расчета

Исходные данные:

Температурный градиент – $q=50$ °С/км;

Глубина залегания слоя $H=3,5$ км;

Толщина слоя $b=800$ м;

Период эксплуатации скважины, $n=10$ лет.

1. По $q=50$ °С/км заданный вариант относится к полутермальному району ($q=40-80$ °С/км).

2. Теплоемкость водоносного слоя для заданного термального района:

$$C_{cl} = F \cdot b \cdot \rho_s \cdot C_s + \alpha \cdot \rho_n \cdot C_n = 10^6 \cdot 800 \cdot 0,05 \cdot 1000 \cdot 4180 + 0,05 \cdot 2700 \cdot 840 = 1,89 \cdot 10^{15} \text{ Дж/}^\circ\text{К.}$$

3. Исходная температура водоносного слоя :

$$\tau_{cl} = \tau_{cp} + q \cdot H = 283 + (50 \cdot 3,5 + 273) = 731 \text{ }^\circ\text{К,}$$

4. Тепловой потенциал водоносного слоя

$$P_T = C_{cl} \cdot (\tau_{cl} - \tau_0) = 1,89 \cdot 10^{15} \cdot (731 - 313) = 7,9 \cdot 10^{17} \text{ Дж}$$

5. Возможное время использования слоя при отводе от него тепловой энергии:

$$t_0 = \frac{C_{cl}}{V \cdot \rho_s \cdot C_s} = \frac{1,89 \cdot 10^{15}}{0,1 \cdot 1000 \cdot 4180} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ с (143 года).}$$

6. Тепловая мощность, извлекаемая из слоя в начале эксплуатации:

$$\left(\frac{dP_T}{dt}\right)_{t=0} = \frac{P_T}{t_0} \cdot e^{\frac{t}{t_0}} = \frac{7,9 \cdot 10^{17}}{4,5 \cdot 10^9} = 175 \text{ МВт.}$$

7. Определяется тепловая мощность, извлекаемая из водоносного слоя через 10 лет эксплуатации:

$$\left(\frac{dP_T}{dt}\right)_{t=n} = \frac{P_T}{t_0} \cdot e^{-\frac{t}{t_0}} = 61 \cdot e^{-\frac{10}{143}} = 163 \text{ МВт.}$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безруких, П.П. Возобновляемая энергетика: сегодня – реальность, завтра – необходимость / П.П. Безруких. – М.: Лесная страна, 2007. – 120 с.
2. Оценки ресурсов возобновляемых источников энергии в России: справочник-учебное пособие / сост. Ю.С. Васильев, П.П. Безруких, В.В. Елистратов, Г.И. Сидоренко. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 250 с.
3. Энергоснабжение сельскохозяйственных потребителей с использованием возобновляемых источников: учебное пособие Л.А Саплин, С.К. Шерьязов, О.С. Пташкина-Гирина, Ю.П. Ильин; под ред. Л.А. Саплина. - Челябинск.: ЧГАУ, 2000. – 194 с.
4. Силвер, Дж. Глобальное потепление без тайн / Дж. Силвер; [пер. с англ. и ред. Е.Г.Петровой]. – М.: Эксмо, 2009. -336 с.
5. Солнечная энергетика: учебное пособие / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин; под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.
6. Твайделл, Дж.. Возобновляемые источники энергии /Дж. Твайделл, А. Уэйр; [пер. с англ. под ред. В.А. Коробова]. - М.: Энергоатомиздат, 1990. -391 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П.1.1

Исходные данные для расчета задачи 1.1

Вариант 0

ОБОРУДОВАНИЕ		Мощность, Вт	Кол-во
Осветительные приборы	лампы накаливания	150	6
	люминесц. лампы	60	3
Нагревательные приборы	электроутюг	1200	1
	печь микроволновая	1500	1
Прочие приборы	телевизор	300	1
	стиральная машина	1050	1
	системный блок	230	1
	монитор	65	1
	принтер	300	1

Вариант 1

ОБОРУДОВАНИЕ		Мощность, Вт	Кол-во
Осветительные приборы	лампы накаливания	150	5
	люминесц. лампы	60	5
Нагревательные приборы	электроутюг	1200	1
	электроплита	1500	1
Прочие приборы	телевизор	300	1
	стиральная машина	1050	1
	холодильник	600	1
	сигнализация	20	1
	принтер	300	1

Вариант 2

ОБОРУДОВАНИЕ		Мощность, Вт	Кол-во
Осветительные приборы	лампы накаливания	150	10
	люминесц. лампы	60	5
Нагревательные приборы	электроутюг	1200	1
	электрочайник	2000	1
Прочие приборы	телевизор	300	2
	синтезатор	100	1
	водяной насос	400	1
	пылесос	1100	1
	DVD-плеер	120	1

Вариант 3

Продолжение табл. П.1.1

ОБОРУДОВАНИЕ		Мощность, Вт	Кол-во
Осветительные приборы	лампы накаливания	150	5
	люминесц. лампы	60	4
Нагревательные приборы	электроутюг	1200	1
	печь микроволновая	1500	1
Прочие приборы	телевизор	300	1
	подогреваемый пол	300	1
	системный блок	230	2
	монитор	65	2
	принтер	300	2

Вариант 4

ОБОРУДОВАНИЕ		Мощность, Вт	Кол-во
Осветительные приборы	лампы накаливания	150	6
	люминесц. лампы	60	4
Нагревательные приборы	электроутюг	1200	1
	печь микроволновая	1500	1
Прочие приборы	телевизор	300	2
	холодильник	700	1
	системный блок	230	2
	монитор	65	2
	принтер	300	2

Вариант 5

ОБОРУДОВАНИЕ		Мощность, Вт	Кол-во
Осветительные приборы	лампы накаливания	150	10
	люминесц. лампы	60	5
Нагревательные приборы	электроплита	1500	1
	печь микроволновая	1500	1
Прочие приборы	телевизор	300	2
	факс-аппарат	100	1
	системный блок	230	1
	монитор	65	1
	принтер	300	1

Вариант 6

ОБОРУДОВАНИЕ		Мощность, Вт	Кол-во
Осветительные приборы	лампы накаливания	150	5
	люминесц. лампы	60	5
Нагревательные приборы	посудом. машина	2100	1
	печь микроволновая	1500	1
Прочие приборы	телевизор	300	2
	пылесос	1200	1
	системный блок	230	1
	монитор	65	1

	принтер	300	1
Окончание табл.П.1.1			

Вариант 7

ОБОРУДОВАНИЕ		Мощность, Вт	Кол-во
Осветительные приборы	лампы накаливания	150	6
	люминесц. лампы	60	3
Нагревательные приборы	электроутюг	1200	1
	печь микроволновая	1500	1
Прочие приборы	пылесос	1200	1
	стиральная машина	1050	1
	системный блок	230	1
	монитор	65	1
	принтер	300	1

Вариант 8

ОБОРУДОВАНИЕ		Мощность, Вт	Кол-во
Осветительные приборы	лампы накаливания	150	6
	люминесц. лампы	60	3
Нагревательные приборы	кофейный автомат	950	1
	печь микроволновая	1500	1
Прочие приборы	телевизор	300	2
	стиральная машина	1050	1
	системный блок	230	1
	монитор	65	2
	принтер	300	1

Вариант 9

ОБОРУДОВАНИЕ		Мощность, Вт	Кол-во
Осветительные приборы	лампы накаливания	150	6
	люминесц. лампы	60	6
Нагревательные приборы	электроплита	1500	1
	печь микроволновая	1500	1
Прочие приборы	телевизор	300	2
	пылесос	1200	1
	системный блок	230	2
	монитор	65	2
	принтер	300	1

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П. 2.1

Исходные данные для расчета к задаче 2.1

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Населенный пункт Челябинской обл.	Аргаяш	Кыштым	Варна	Миасс	Бреды	Челябинск	Кизил	Пласт	Еткуль	Троицк
Объем горячей воды, л	5	10	7	8	12	15	9	6	10	9
Конечная температура нагрева, °С	50	65	80	70	60	55	75	80	90	85
Вид стеклянного покрытия СК	одинарное	двойное	двойное	силикатное	одинарное	силикатное	двойное	одинарное	силикатное	двойное

Таблица П. 2.2

Значения коэффициентов a,b,S₀ для Челябинской области по месяцам

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
a	0,15	0,14	0,2	0,17	0,12	0,10	0,18	0,11	0,14	0,19	0,16	0,13
b	0,18	0,41	0,4	0,45	0,54	0,54	0,4	0,48	0,44	0,44	0,42	0,32
S ₀ , ч	8	10	12	14	16	16	16	14	12	10	8	8

Таблица П. 2.3

Средние значения величины S для различных районов Челябинской области

Населенные пункты	Величина S, ч, по месяцам											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Бреды, Кизильское, Карталы	3,5	4,8	6,2	8,1	9,4	10,5	10,5	9,5	6,8	4,3	3,0	2,5
Агаповка, Варна, Троицк, Октябрьское	3,1	4,5	5,8	7,8	9,2	10,3	10,3	8,9	6,4	3,8	2,9	2,5
Верхнеуральск, Чесма, Пласт, Увельское, Еткуль	2,8	4,5	5,4	7,4	8,8	9,8	9,9	8,4	6,3	3,5	2,6	2,0
Чебаркуль, Аргаяш, Челябинск, Миасс, Кунашак.	2,5	4,2	5,2	7,4	8,6	9,6	9,4	7,9	5,6	3,4	2,2	1,9
Нязепетровск, Кыштым, Верхний Уфалей	2,2	5,2	7,3	8,6	9,4	9,0	9,0	7,5	5,3	2,9	2,0	1,8

Таблица П. 2.4

Исходные данные для расчета к задаче 2.2

Вариант	Месяц	Температура окол. среды, °С	Угол наклона к горизонту, β	Количество модулей, m
0	март, апрель	5	28	4
1	июнь, июль	20	0	2
2	май, июнь	15	58	3
3	сентябрь, октябрь	5	43	4
4	апрель, май	15	0	2
5	июль, август	20	90	2
6	июнь, июль	20	28	1
7	август, сентябрь	10	58	3
8	апрель, май	10	90	3
9	июнь, июль	20	43	2

Таблица П.2.5

Валовой удельный приход солнечной радиации на поверхность солнечного модуля в кВт ч/(м² мес.) для различных углов наклона площадки β к горизонту

Месяц	$\mathcal{E}_{\text{вал}}$, кВт ч/(м ² · мес)				
	$\beta = 0^\circ$	$\beta = 28^\circ$	$\beta = 43^\circ$	$\beta = 58^\circ$	$\beta = 90^\circ$
I	55,6	86,49	105,98	114,6	104,1
II	72,2	96,6	114,35	116,3	97,8
III	121,4	144,4	159,2	150,6	111,6
IV	138,8	145,5	149,69	129,1	76,8
V	172,0	171,7	163,35	128,2	66,7
VI	193,8	191,7	174,05	137,6	63,7
VII	201,7	191,7	181,32	145,2	65,2
VIII	171,5	174,8	178,03	147,5	80,3
IX	137,7	155,7	164,3	154,3	106,3
X	97,9	125,2	146,17	147,8	119,0
XI	53,0	75,3	92,8	97,9	85,8
XII	48,9	75,3	100,1	107,9	99,9
Год	1464,6	1634,4	1729,3	1576,1	1077,2

Характеристика фотоэлектрического модуля
PSM4-150 на основе монокристаллического кремния

Характеристика	Значение
Общая площадь модуля в корпусе	1,28 м ²
Масса, кг	19
Лицевая поверхность	стекло марки М1 (4мм)
Рама	крашенный алюминий
Солнечные элементы	ФЭП 125/150
Количество элементов	72
Форма элемента	псевдоквадрат
Размеры элемента	125 x125 мм.

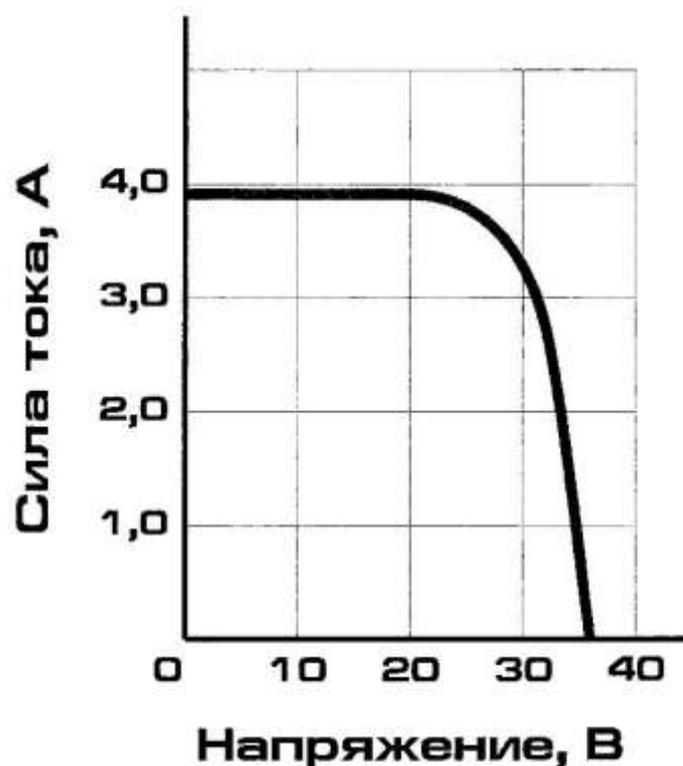


Рис.П.2.1 - Вольт-амперная характеристика (ВАХ) PSM4-150 при уровне освещенности 800 Вт/м²

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица П. 3.1

Исходные данные для решения задачи 3.1

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Район Челябинской области	Златоуст	Бреды	Южно-уральск	Аргаяш	Кизильское	Челябинск	Сафакулево	Магнитогорск	Октябрьское	Таганай
Тип ВЭУ	УВЭ-40	ЛМВ-250	ВЭУ-1	ЛМВ-500	ВЭТЭН – 0,16	Радуга-001	УВЭ-300/24-2,2	ВЭУ-02	УВЭ-500	ВЭС-1
Номинальная мощность, P_H кВт	0,07	0,25	1,0	0,5	0,16	1,0	0,55	0,2	0,5	1,0
Минимальная скорость ветра, v_{min} м/с	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Рабочая скорость ветра, v_p , м/с	6,5	8,0	7,0	7,0	7,0	8,0	8,0	8,0	12,0	7,0
Максимальная скорость ветра, v_{max} , м/с	25,0	30,0	40,0	30,0	25,0	25,0	25,0	40,0	25,0	40,0
Число лопастей	3	3	1	2	3	3	3	1	3	3
Диаметр ветроколеса, D , м	1,5	1,7	3,0	3,0	1,6	2,2	2,2	1,6	2,2	3,6
Высота мачты h , м	4	9	10	8	4,5	4,3	4,3	6	4,5	8

Таблица П. 3.2

Эмпирическая повторяемость скоростей ветра в зоне Южного Урала

Месяц	Градации скоростей ветра, м/с								
	0 - 1	2 - 3	4 - 5	6 - 7	8 - 9	10 - 11	12 - 13	14 - 15	Более 16
Сафакулево									
Январь	0,3	0,32	0,23	0,08	0,05	0,01	0,01	0	0
Февраль	0,3	0,33	0,22	0,09	0,04	0,01	0,01	0	0
Март	0,27	0,29	0,25	0,12	0,05	0,01	0,01	0	0
Апрель	0,28	0,3	0,22	0,1	0,08	0,02	0,01	0	0
Май	0,27	0,29	0,23	0,1	0,08	0,02	0,01	0	0
Июнь	0,27	0,31	0,22	0,1	0,08	0,02	0	0	0
Июль	0,27	0,29	0,24	0,1	0,07	0,02	0,01	0	0
Август	0,28	0,29	0,22	0,1	0,08	0,02	0,01	0	0
Сентябрь	0,28	0,3	0,24	0,1	0,05	0,02	0,01	0	0
Октябрь	0,27	0,29	0,24	0,1	0,07	0,02	0,01	0	0
Ноябрь	0,28	0,3	0,23	0,1	0,06	0,02	0,01	0	0
Декабрь	0,29	0,31	0,23	0,09	0,06	0,01	0,01	0	0
Год	0,39	0,34	0,19	0,05	0,01	0	0	0	0
Таганай									
Январь	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,16	0,13	0,01	0,27
Февраль	0,07	0,08	0,09	0,1	0,18	0,12	0,1	0,07	0,19
Март	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,14	0,07	0,14
Апрель	0,06	0,09	0,1	0,13	0,12	0,17	0,12	0,06	0,15
Май	0,08	0,13	0,17	0,18	0,15	0,14	0,07	0,04	0,04
Июнь	0,08	0,1	0,18	0,17	0,14	0,17	0,09	0,04	0,03
Июль	0,11	0,16	0,19	0,19	0,15	0,13	0,05	0,02	0
Август	0,08	0,16	0,16	0,17	0,16	0,12	0,07	0,03	0,02
Сентябрь	0,06	0,11	0,11	0,18	0,17	0,15	0,1	0,04	0,05
Октябрь	0,06	0,1	0,1	0,16	0,14	0,16	0,12	0,06	0,08
Ноябрь	0,04	0,08	0,08	0,11	0,1	0,15	0,18	0,07	0,18
Декабрь	0,04	0,07	0,07	0,1	0,09	0,15	0,14	0,07	0,29
Год	0,07	0,09	0,13	0,14	0,13	0,15	0,11	0,06	0,12
Аргаяш									
Январь	0,19	0,34	0,27	0,13	0,06	0,01	0	0	0
Февраль	0,19	0,39	0,25	0,11	0,05	0,01	0	0	0
Март	0,19	0,47	0,22	0,08	0,03	0,01	0	0	0
Апрель	0,14	0,34	0,29	0,16	0,06	0,01	0	0	0
Май	0,14	0,38	0,27	0,13	0,05	0,02	0,01	0	0
Июнь	0,19	0,41	0,25	0,1	0,04	0,01	0	0	0
Июль	0,24	0,46	0,21	0,07	0,02	0	0	0	0
Август	0,23	0,47	0,2	0,07	0,02	0,01	0	0	0
Сентябрь	0,2	0,39	0,26	0,11	0,03	0,01	0	0	0
Октябрь	0,16	0,38	0,27	0,14	0,04	0,01	0	0	0
Ноябрь	0,15	0,37	0,28	0,12	0,05	0,03	0	0	0
Декабрь	0,18	0,36	0,28	0,13	0,04	0,01	0	0	0
Год	0,18	0,4	0,25	0,11	0,04	0,02	0	0	0

Продолжение табл. П.3.2

Месяц	Градации скоростей ветра, м/с								
	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	Более 16
Челябинск									
Январь	0,46	0,25	0,15	0,08	0,04	0,01	0,005	0,005	0
Февраль	0,48	0,26	0,15	0,06	0,03	0,01	0,005	0,004	0,001
Март	0,45	0,29	0,15	0,06	0,04	0,01	0	0	0
Апрель	0,35	0,29	0,19	0,08	0,06	0,02	0,01	0	0
Май	0,31	0,32	0,19	0,1	0,05	0,02	0,01	0	0
Июнь	0,35	0,34	0,19	0,08	0,04	0	0	0	0
Июль	0,42	0,34	0,16	0,05	0,03	0	0	0	0
Август	0,43	0,33	0,17	0,05	0,02	0	0	0	0
Сентябрь	0,41	0,29	0,17	0,07	0,04	0,02	0	0	0
Октябрь	0,35	0,3	0,18	0,09	0,05	0,02	0,01	0	0
Ноябрь	0,39	0,29	0,17	0,08	0,04	0,02	0,01	0	0
Декабрь	0,51	0,25	0,13	0,06	0,03	0,01	0,01	0	0
Год	0,41	0,3	0,16	0,072	0,04	0,012	0,005	0,001	0
Южноуральск									
Январь	0,53	0,24	0,17	0,04	0,01	0,01	0	0	0
Февраль	0,55	0,22	0,16	0,04	0,02	0,01	0	0	0
Март	0,49	0,29	0,16	0,05	0,01	0	0	0	0
Апрель	0,39	0,28	0,21	0,09	0,02	0,01	0	0	0
Май	0,4	0,3	0,2	0,07	0,02	0,01	0	0	0
Июнь	0,41	0,3	0,2	0,07	0,02	0	0	0	0
Июль	0,44	0,32	0,19	0,04	0,01	0	0	0	0
Август	0,46	0,3	0,18	0,05	0,01	0	0	0	0
Сентябрь	0,48	0,27	0,2	0,04	0,01	0	0	0	0
Октябрь	0,42	0,28	0,2	0,07	0,02	0,01	0	0	0
Ноябрь	0,49	0,28	0,16	0,05	0,02	0	0	0	0
Декабрь	0,62	0,22	0,11	0,04	0,01	0	0	0	0
Год	0,47	0,28	0,18	0,05	0,014	0,005	0,001	0	0
Октябрьское									
Январь	0,24	0,28	0,21	0,13	0,07	0,04	0,02	0,01	0
Февраль	0,24	0,32	0,23	0,1	0,05	0,03	0,02	0,01	0
Март	0,24	0,4	0,23	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Апрель	0,22	0,29	0,26	0,13	0,06	0,02	0,01	0,01	0
Май	0,18	0,29	0,27	0,14	0,07	0,03	0,01	0,1	0
Июнь	0,16	0,33	0,27	0,13	0,06	0,03	0,01	0,01	0
Июль	0,21	0,41	0,25	0,09	0,03	0,01	0	0	0
Август	0,21	0,37	0,26	0,1	0,05	0,01	0	0	0
Сентябрь	0,18	0,34	0,26	0,13	0,05	0,03	0,01	0	0
Октябрь	0,18	0,35	0,26	0,12	0,06	0,03	0	0	0
Ноябрь	0,15	0,34	0,3	0,12	0,04	0,03	0,01	0	0,01
Декабрь	0,18	0,32	0,26	0,12	0,06	0,04	0,01	0,01	0
Год	0,2	0,34	0,26	0,12	0,05	0,03	0	0	0

Продолжение табл.П.3.2

Месяц	Градации скоростей ветра, м/с								
	0 - 1	2 - 3	4 - 5	6 - 7	8 - 9	10 - 11	12 - 13	14 - 15	Более 16
Магнитогорск									
Январь	0,43	0,12	0,14	0,1	0,09	0,07	0,03	0,01	0,01
Февраль	0,4	0,15	0,14	0,1	0,08	0,08	0,03	0,01	0,01
Март	0,32	0,16	0,19	0,13	0,07	0,08	0,03	0,02	0
Апрель	0,25	0,16	0,22	0,11	0,1	0,1	0,04	0,02	0
Май	0,2	0,18	0,24	0,14	0,1	0,1	0,03	0,01	0
Июнь	0,24	0,2	0,25	0,13	0,1	0,06	0,02	0	0
Июль	0,27	0,21	0,23	0,13	0,07	0,07	0,02	0	0
Август	0,29	0,22	0,24	0,11	0,06	0,05	0,02	0,01	0
Сентябрь	0,29	0,18	0,23	0,12	0,08	0,08	0,02	0	0
Октябрь	0,23	0,15	0,022	0,13	0,1	0,11	0,04	0,02	0
Ноябрь	0,25	0,16	0,19	0,11	0,1	0,11	0,06	0,01	0,01
Декабрь	0,43	0,13	0,15	0,09	0,07	0,08	0,03	0,02	0
Год	0,3	0,17	0,2	0,12	0,09	0,08	0,03	0,01	0
Кизильское									
Январь	0,27	0,29	0,17	0,12	0,07	0,05	0,02	0,01	0
Февраль	0,24	0,31	0,21	0,12	0,07	0,03	0,02	0	0
Март	0,24	0,3	0,23	0,12	0,06	0,03	0,02	0	0
Апрель	0,18	0,29	0,24	0,15	0,08	0,03	0,02	0,01	0
Май	0,18	0,3	0,24	0,15	0,08	0,04	0,01	0	0
Июнь	0,23	0,33	0,23	0,12	0,06	0,02	0,01	0	0
Июль	0,25	0,36	0,23	0,1	0,04	0,02	0	0	0
Август	0,26	0,4	0,19	0,1	0,03	0,01	0,01	0	0
Сентябрь	0,23	0,34	0,23	0,11	0,07	0,02	0	0	0
Октябрь	0,17	0,3	0,22	0,15	0,1	0,04	0,02	0	0
Ноябрь	0,21	0,26	0,22	0,16	0,09	0,04	0,02	0	0
Декабрь	0,29	0,28	0,22	0,11	0,05	0,03	0,01	0,07	0,03
Год	0,23	0,31	0,22	0,13	0,07	0,03	0,01	0	0
Бреды									
Январь	0,42	0,21	0,16	0,1	0,06	0,02	0,02	0,01	0
Февраль	0,38	0,23	0,14	0,1	0,08	0,05	0,02	0	0
Март	0,44	0,25	0,15	0,1	0,03	0,02	0,01	0	0
Апрель	0,36	0,26	0,17	0,1	0,08	0,02	0,01	0	0
Май	0,34	0,27	0,17	0,1	0,09	0,02	0,01	0	0
Июнь	0,32	0,27	0,21	0,1	0,05	0,03	0,01	0,01	0
Июль	0,37	0,31	0,19	0,1	0,03	0	0	0	0
Август	0,38	0,31	0,18	0,08	0,04	0,01	0	0	0
Сентябрь	0,33	0,29	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0	0
Октябрь	0,36	0,28	0,2	0,1	0,03	0,02	0,01	0	0
Ноябрь	0,37	0,25	0,16	0,1	0,08	0,03	0,01	0	0
Декабрь	0,35	0,25	0,18	0,1	0,09	0,02	0,01	0	0
Год	0,37	0,27	0,18	0,1	0,06	0,02	0	0	0

Месяц	Градации скоростей ветра, м/с								
	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	Более 16
Златоуст									
Январь	0,47	0,31	0,14	0,05	0,02	0,01	0	0	0
Февраль	0,43	0,29	0,17	0,07	0,03	0,01	0	0	0
Март	0,47	0,33	0,13	0,04	0,03	0	0	0	0
Апрель	0,43	0,34	0,17	0,04	0,02	0	0	0	0
Май	0,49	0,33	0,13	0,04	0,01	0	0	0	0
Июнь	0,56	0,29	0,1	0,04	0,01	0	0	0	0
Июль	0,61	0,28	0,08	0,03	0	0	0	0	0
Август	0,62	0,31	0,06	0,01	0	0	0	0	0
Сентябрь	0,57	0,3	0,11	0,02	0	0	0	0	0
Октябрь	0,51	0,35	0,1	0,03	0,01	0	0	0	0
Ноябрь	0,44	0,34	0,15	0,05	0,02	0	0	0	0
Декабрь	0,47	0,32	0,14	0,05	0,01	0,01	0	0	0
Год	0,66	0,18	0,06	0,06	0,04	0	0	0	0

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица П. 4.1

Исходные данные для решения задачи 4.1.

№ варианта	0		1		2		3		4	
	коровы	быки	свиньи	коровы	телята	свиньи	быки	телята	коровы	телята
Вид животных										
Кол-во голов, п	30	10	30	20	40	25	10	20	20	15

Продолжение табл.П. 4.1.

№ варианта	5		6		7		8		9	
	быки	свиньи	куры	свиньи	быки	коровы	куры	быки	гуси	свиньи
Вид животных										
Кол-во голов, п	20	30	150	50	20	20	250	10	50	50

Таблица П. 4.2

Исходные данные для расчета биогазовых установок

Вид животных	Влажность навоза, W, о.е	Рекомендуемый объем загрузки m_p , кг/м ³	Доля COB в сухом веществе навоза, P	Суточный выход навоза в сутки на одну голову, $M_{сут}$, кг/сут	Продолжительность брожения, T, сут	Доля выхода биогаза, m_B
Быки	0,85 - 0,9	4,5	0,77 - 0,85	40	18	0,4
Коровы	0,85 - 0,9	6,0	0,77 - 0,85	40	17	0,4
Свиньи	0,88 - 0,92	3,0	0,77 - 0,84	2,0	12	0,5
Телята	0,86 - 0,9	5,0	0,77 - 0,80	10	16	0,48
Куры	0,73 - 0,76	1,5	0,76 - 0,77	0,2	30	0,55
Гуси	0,72 - 0,75	2,0	0,75 - 0,77	0,58	40	0,56
Утки	0,72 - 0,75	1,7	0,75 - 0,77	0,42	40	0,55

Исходные данные для расчета задачи 5.1

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Расход воды, Q , м ³ /с	0,2	0,4	0,7	0,6	1,0	0,2	0,8	0,4	0,3	0,8
Напор воды, h , м	4,0	5,0	5,0	8,0	3,0	10,0	4,0	8,0	4,0	3,0
Уклон реки i , м/км	00,5	0,1	0,08	0,06	0,09	0,06	0,07	0,1	0,05	0,08

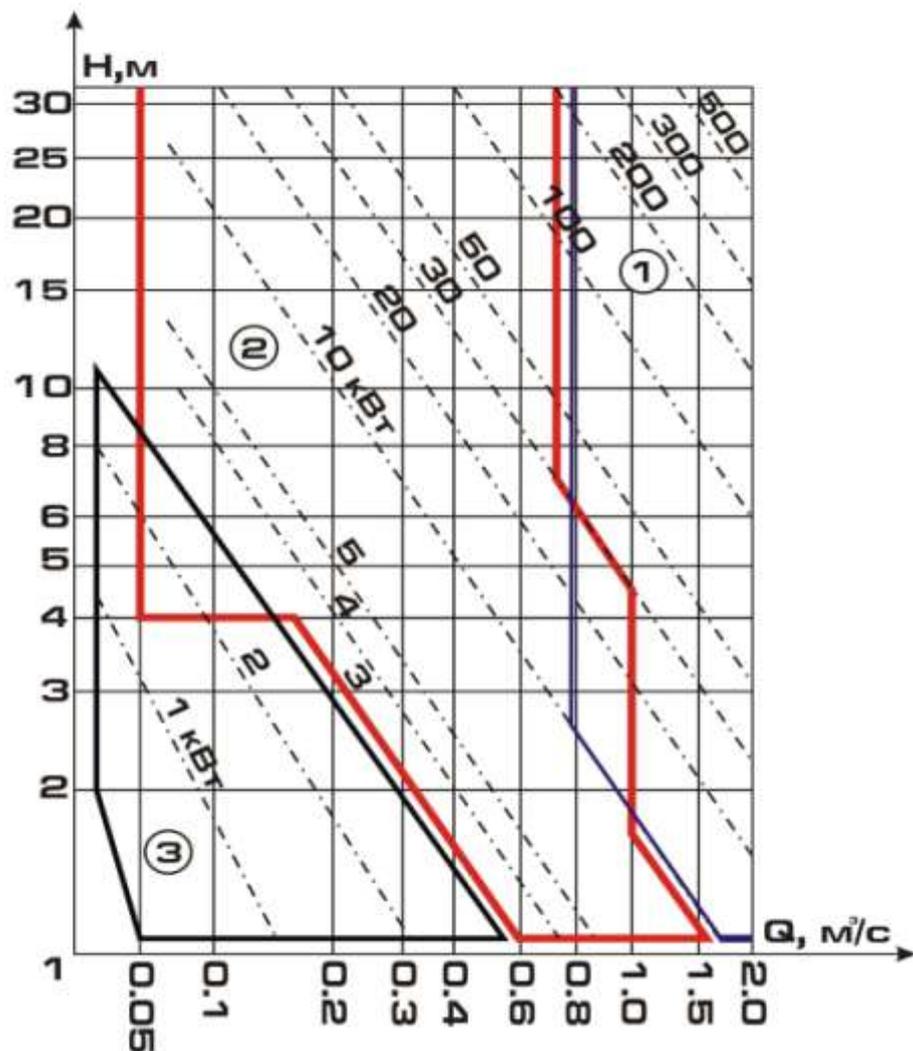


Рис.П 5.1 Номограмма для выбора турбин малых ГЭС:
 1 – зона прямооточных турбин; 2 – зона поперечно–струйных турбин; 3 – зона наклонно–струйных турбин

Таблица П. 5.2

Исходные данные для расчета задачи 5.2

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Скорость водного потока v , м/с	2,0	1,8	2,2	1,7	1,5	2,0	1,6	2,5	1,8	2,6
Диаметр турбины d , м	1,28	0,72	0,34	0,48	0,72	0,56	0,4	0,4	0,6	0,5
Длина турбины l , м	1,9	1,33	0,7	1,2	1,14	0,8	1,05	0,9	1,22	0,4
Количество турбин в гирлянде n	3	6	5	10	14	9	7	4	8	1

Таблица П. 5.3

Типы генераторов, применяемых для гирляндных ГЭС

Тип генератора	Мощность, кВт	Число оборотов в минуту
ГПМ 130	0,13	500
ГАУ-4101 ГАУ-4684	0,1	800/450
Г52А	0,96	625/850
АПН-68	1,8	750
ВС-18/8	3,5/2,7	1000/750
МП-542-1/2	3,6	500
МП-543-1/2	6	428
ВС-24/2	6,5	750
МП-543-2/2	9,5	428
ВС-29, 5/21	10	375
ВС-34/18	10	300
МП-544-1/2	11,2	375
ВС-34/26	11,5	250
В-48/24-6	17,5	187

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Таблица П. 6.1

Исходные данные для расчета задачи 6.1

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температурный градиент q , °C/км	55	30	70	45	35	50	75	40	60	65
Глубина залегания слоя H , км	3,5	3,0	4,0	2,5	3,0	2,5	4,0	3,5	2,5	3,0
Толщина слоя b , км	0,7	0,5	0,9	0,6	1,0	0,8	0,7	0,5	0,9	1,0
Число лет с начала эксплуатации скважины n , лет	20	15	30	25	10	15	20	10	25	30

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Таблица П. 7.1

Соотношение некоторых единиц энергии (работы, теплоты)

	Дж	Кал	г.у.т.	г.н.э.	м ³ газа	Вт·ч
1 Дж	1	0,24	$3,41 \cdot 10^{-5}$	$2,39 \cdot 10^{-5}$	$25-27 \cdot 10^{-9}$	$2,78 \cdot 10^{-4}$
Кал	4,18	1	$1,43 \cdot 10^{-4}$	$9,98 \cdot 10^{-5}$	$1,12 \cdot 10^{-7}$	$1,16 \cdot 10^{-3}$
1 г.у.т.	$2,93 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^3$	1	$6,99 \cdot 10^{-1}$	$7,86 \cdot 10^{-4}$	8,16
1 г.н.э.	$4,19 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^4$	1,43	1	$1,12 \cdot 10^{-3}$	$1,17 \cdot 10^1$
1 м ³ газа	$3,73 \cdot 10^7$	$8,92 \cdot 10^6$	$1,27 \cdot 10^3$	$8,9 \cdot 10^2$	1	$1,04 \cdot 10^4$
1 Вт·ч	$3,59 \cdot 10^3$	$8,59 \cdot 10^3$	$1,23 \cdot 10^{-1}$	$8,59 \cdot 10^{-2}$	$9,62 \cdot 10^{-5}$	1

Примечания:

Дж - Джоуль

Кал – калория;

г.у.т. – грамм условного топлива;

г.н.э. – грамм нефтяного эквивалента

м³ газа - кубический метр природного газа.

Вт·ч – Ватт-час электроэнергии.