

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского  
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 17:27:47

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## Методические указания

по выполнению практических работ

по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

## Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	3
1.	Практическая работа №1 Использование солнечной энергии	4
2.	Практическая работа №2 Расчет ветроэнергетических установок	16
3.	Практическая работа №3 Использование энергии малых рек	21
4.	Практическая работа №4 Биогазовые установки.	27
5.	Практическая работа №5 Системы аккумулирования тепловой энергии	31
6.	Практическая работа №6 Использование геотермальной энергии	38

## **Введение**

Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», использование специального лабораторного оборудования и технических средств. Практические занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Практические занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

## ***Практическая работа №1***

***Тема:*** Использование солнечной энергии

***Цель:*** Изучить способы преобразования солнечной энергии в электричество

***Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:***

Обучающийся должен:

***знать:***

– основные формулы и определения

***уметь:***

– решать задачи, используя основные формулы

***Формируемая компетенция:*** ПК-1

***Актуальность темы:***

Заключается в необходимости

***Теоретическая часть:***

Для использования солнечной энергии в основном применяются солнечные коллекторы. Солнечный коллектор используется для нагрева жидкости. Поток солнечной энергии  $Q_c$ , поглощаемой поверхностью приёмника, составляет:

$$Q_c = \tau_{пр} * \alpha_{пг} * A_n * G,$$

где  $G$  – облученность приемника, Вт/м<sup>2</sup>;

$A_n$  – площадь освещенной поверхности, м<sup>2</sup>;

$\tau_{пр}$  – коэффициент пропускания прозрачного покрытия, защищающего приемную поверхность от ветра, при одинарном остеклении принимается 0,9, при двойном – 0,8;

$\alpha_{пг}$  - коэффициент поглощения приёмной поверхностью солнечного излучения, 0,85 - 0,9.

В процессе поглощения температура приёмной поверхности повышается. Повышение температуры приёмника  $T_{np}$  над температурой окружающей среды  $T_{cp}$  приводит к возникновению потока от приёмника, причём скорость теплоотдачи равна  $(T_{np} - T_{cp})/R_m$ , где  $R_m$  – термическое сопротивление.

Теплоотдача приемника в окружающую среду:

$$Q_T = \frac{A_n * (T_{np} - T_{cp})}{R_T}$$

где  $T_{np}$  – температура приёмника, °С;

$T_{cp}$  – температура окружающей среды, °С;

$R_m$  – термическое сопротивление, К/Вт.

Суммарный поток тепла  $Q_\Sigma$ , поступающего к приёмной площадке, определяется балансом (уравнение солнечного коллектора):

$$Q_\Sigma = \tau_{np} * \alpha_{np} * A_n * G - \frac{(T_{np} - T_{cp})}{R_T} = \eta_u * A_n * G$$

где  $\eta_u$  – коэффициент захвата излучения, 0,85.

Коэффициент  $k$  определяет долю суммарного потока  $Q_\Sigma$ , передаваемую жидкости. В приёмниках хорошего качества разность между температурами приёмной площадки и жидкости мала и коэффициент теплопередачи лишь немного меньше единицы. Таким образом, поток тепла от приёмника солнечного излучения к теплоносителю определяется соотношением:

$$Q_{ж} = k * Q_\Sigma$$

Поток тепла при нагревании массы жидкости  $m$ :

$$Q_{ж} = \frac{m * c * dT_{ж}}{dt}$$

где  $T_{ж}$  – температура жидкости, °С;

$c$  – теплоёмкость жидкости, Дж/(кг К).

Поток тепла при нагревании жидкости, массовый расход которого через приёмник  $m_1$ :

$$Q_{ж} = m_1 * c * (T_2 - T_1)$$

где  $T_1$  – температура входящей жидкости в приемник, °С;

$T_2$  – выходящей, °C;

$m_1$  – массовый расход жидкости в трубе, кг/с.

Вместо параметра  $Q$  удобно использовать плотность теплового потока (тепловой поток на единицу площади)  $q$ :

$$q = \frac{\Delta T}{r}$$

$$Q = q * A = \frac{\Delta T * A}{r}$$

$$R_T = \frac{r}{A}, \quad r = R * A$$

где  $r$  – удельное термическое сопротивление.  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$

$$q = \alpha * \Delta T$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К})$ .

$$\alpha = 1/r$$

Механизмы теплопереноса обозначаются различными нижними индексами у параметров  $R$ ,  $r$  или  $\alpha$ , а именно  $n$  - для теплопроводности,  $k$  – для конвекции, (из) - для излучения, ж - для жидкости. Количество тепла  $Q$ , переносимого в результате через пластину толщиной  $\Delta x$  и площадью  $A_n$  при разности температур её поверхности, равно:

$$Q = -\lambda * A_n * \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

Знак минус означает, что тепло переносится в направлении убывания температуры по толщине пластины. Термическое сопротивление при теплопроводностном механизме переноса тепла:

$$R_n = \frac{\Delta x}{\lambda * A_n}$$

и удельное термическое сопротивление:

$$r_n = R_n * A_n = \frac{\Delta x}{\lambda}$$

У неподвижного воздуха  $\lambda = 0,03 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

Время, необходимое для повышения температуры:

$$\Delta t = \frac{\Delta T}{\frac{dT_{\text{ж}}}{dt}}$$

$$C_{\text{ж}} = m * c$$

где  $C_{\text{ж}}$  – теплоёмкость жидкости;

$c$  – удельная теплоёмкость;

$m$  – масса жидкости.

Тогда уравнение теплового баланса может выглядеть как:

$$\frac{m * c * dT_{\text{ж}}}{dt} = \tau_{\text{пр}} * \alpha_n * A_n * G - \frac{(T_{\text{ж}} - T_{\text{ср}})}{R_n}$$

где  $R_n$  – полное термическое сопротивление промежутка между приёмной поверхностью резервуара и окружающим воздухом, К/Вт.

$$R_n = \left( \frac{1}{R_{\text{к.п-с}}} + \frac{1}{R_{\text{из.п-с}}} \right)^{-1}$$

где  $R_{\text{к.п-с}}$  – конвективное термическое сопротивление между приёмником и стеклом;

$R_{\text{из.п-с}}$  – радиационное термическое сопротивление между приёмником и стеклом.

Полное термическое сопротивление промежутка приёмная поверхность нагревателя – стеклянная крышка:

$$R_n = \left( \frac{1}{R_{\text{к-с}}} + \frac{1}{R_{\text{из-с}}} \right)^{-1}$$

Энергия, передаваемая воздуху от поглощающей поверхности в единицу времени:

$$P_u = q * c * Q_p * (T_2 - T_1)$$

Тепловой баланс внутри здания описывается уравнением:

$$\frac{m * c * dT_r}{dt} = \frac{\tau_{\text{пр}} * \alpha_n * G * A_n - (T_r - T_{\text{ср}})}{R_n}$$

где  $T_r$  – комфортная температура в помещении, °С;

$A_n$  – площадь приёмника, м<sup>2</sup>;

$G$  – интенсивность солнечного излучения, Вт/м<sup>2</sup>.

Если температура в комнате постоянна, то:

где  $\tau_{np}$  - пропускание стекла, 0,9;

$\alpha_n$  - коэффициент поглощения стенки, 0,8;

$r$  - термическое сопротивление потерям из комнаты наружу вертикального окна с одним стеклом,  $r = 0,07 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$ .

Температура воздуха в доме с течением времени определяется по формуле:

$$T_r - T_{cp} = (T_r - T_{cp}) * t = 0 * \exp\left(\frac{-t}{RC}\right)$$

где  $R = r \cdot A_n^{-1}$ ;

$C = m \cdot c$ ;

$m$  – масса стенки, кг;

$c$  – удельная теплоёмкость (для бетона  $c = 840 \text{ Дж/(кг К)}$ ).

КПД солнечной батареи:

$$\eta = \frac{P_u}{G * A_n}$$

ЭДС солнечной батареи:

$$E = \frac{P_u}{I^2}$$

где  $I$  – величина тока, А.

$P_u$  – мощность солнечной батареи, Вт.

Производительность солнечного дистиллятора  $\Pi$  определяется:

$$\Pi = \frac{G}{r}$$

где  $G$  – поток излучения,  $\text{МДж/м}^2 \text{ день}$ ;

$r$  – удельная теплота парообразования,  $2,4 \text{ МДж/кг}$ .

### **Задания:**

#### **Задание №1**

Использование солнечной энергии для отопления жилого дома окрашенного в черный цвет/выполненного темным материалом. «Чёрный солнечный дом» с большим окном с южной стороны размером  $H \cdot L$  (высота, длина) и массивной зачернённой стенкой с северной стороны. Толщина поглощающей стенки, изготовленной из бетона ( $v$ ), его плотность  $\rho = 2,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент пропускания стекла  $\tau_n = 0,9$ , коэффициент поглощения стенки  $\alpha_{\text{ст}} = 0,8$ .

Определить какой требуется поток солнечного излучения, чтобы нагреть воздух в комнате на  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  градусов выше наружного.

Температуру воздуха в доме в 8 часов утра, т. е. через 16 часов. Температура наружного воздуха  $T_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$  градусов. Теплоёмкость бетона  $c = 840 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ . Удельное термическое сопротивление потерям тепла из комнаты наружу через стекло  $r = 0,07 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ .

Таблица 1 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
H, м	3	4	5	3
L, м	5	3	6	4
v, м	0,1	0,2	0,3	0,4

#### **Задание №2**

Плотность потока излучения, падающего на солнечную батарею, составляет  $G$ ,  $\text{Вт/м}^2$ , КПД,  $\eta$  %. Какую площадь  $F$  должна иметь солнечная батарея с КПД  $\eta$  и мощностью  $P$ , Вт.

Таблица 2 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$G, \text{Вт/м}^2$	460	500	550	600
$\eta, \%$	20	18	19	20
$P, \text{Вт}$	100	90	110	120

**Задание №3**

Солнечная батарея состоит из ( $n$ ) фотоэлементов, мощность каждого 1,5 Вт, размер 20·30 см. Определить КПД ( $\eta$ ) солнечной батареи, если плотность потока  $G \text{ Вт/м}^2$ .

Таблица 3 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$n, \text{шт}$	900	1000	1100	1200
$G, \text{Вт/м}^2$	500	450	550	600

**Задание №4**

Площадь солнечной батареи  $S, \text{м}^2$ , плотность тока  $i, \text{А/см}^2$ , плотность излучения  $G, \text{Вт/м}^2$ . Определить ЭДС в солнечной батарее при КПД  $\eta$ .

Таблица 4 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$S, \text{м}^2$	0,25	0,3	0,4	0,5
$i, \text{А/см}^2$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
$G, \text{Вт/м}^2$	300	400	500	400
$\eta$	0,3	0,25	0,26	0,27

### ***Задание №5***

Небольшая домашняя осветительная система питается от аккумуляторной батареи напряжением  $U$ , В. Освещение включается каждый вечер на 4 часа, потребляемый ток  $I$ , А. Какой должна быть солнечная батарея, чтобы зарядить аккумуляторную батарею, если известно, что кремниевый элемент имеет ЭДС  $E = 0,5$  В при токе  $0,5$  А. Расход энергии на заряд батареи 20 % больше, чем энергия отдаваемая потребителю при разряде.

Таблица 5 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$U$ , В	8	9	10	11
$I$ , А	3,0	2,5	3	3,5

### ***Задание №6***

Приёмник расположен на теплоизоляторе с коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ , Вт/м·К, удельное термическое сопротивление поверхности приёмника  $r = 0,13$  м<sup>2</sup>·К/Вт. Определить какой толщины требуется изоляция, чтобы обеспечить термическое сопротивление дна, равное сопротивлению поверхности.

Таблица 6 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$\lambda$ , Вт/м·К	0,034	0,1	0,05	0,013

### **Задание №7**

Определить температуру трубки  $T_{тр}$  вакуумированного приёмника, если внутренний диаметр трубки  $d$ , см, поток солнечной энергии  $G$ , Вт/м<sup>2</sup>, температура среды  $T_{ср}$ . Сопротивления потерям тепла  $R = 10,2$  К/Вт, коэффициент пропускания стеклянной крышки  $\beta = 0,9$ , коэффициент поглощения (доля поглощённой энергии),  $\alpha_p = 0,85$ .

Таблица 7 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$d$ , см	1	0,9	1	1,1
$G$ , Вт/м <sup>2</sup>	750	700	650	600
$T_{ср}$ , °С	20	15	10	5

### **Задание №8**

Площадь солнечного дистиллятора  $B \cdot L$ , м<sup>2</sup>. Поток излучения составляет  $G$ , МДж/м<sup>2</sup> в день. Удельная теплота парообразования воды  $r = 2,4$  МДж/кг. Определить производительность дистиллятора.

Таблица 8 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$B$ , м	5	5	10	15
$L$ , м	5	10	15	5
$G$ , МДж/м <sup>2</sup> ·день	20	15	10	10

### Задание №9

На солнечной электростанции башенного типа установлено  $n$  гелиостатов, каждый из которых имеет поверхность  $F_2$ . Гелиостаты отражают солнечные лучи на приёмник, на поверхности которого зарегистрирована максимальная энергетическая освещённость  $H_{np}$ . Коэффициент отражения гелиостата  $K_2 = 0,8$ , коэффициент поглощения  $\alpha_{noz} = 0,95$ . Максимальная облучённость зеркала гелиостата  $G_2$ . Определить площадь поверхности приемника  $F_{np}$  и тепловые потери в нем, вызванные излучением и конвекцией, если рабочая температура теплоносителя составляет  $t^\circ\text{C}$ . Степень черноты приёмника  $e_{np} = 0,95$ . Конвективные потери вдвое меньше потерь от излучения. Коэффициент излучения абсолютно чёрного тела  $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}^4)$ .

Таблица 9 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$n$	263	300	280	270
$F_2, \text{ м}^2$	58	50	60	55
$G, \text{ Вт}/\text{м}^2$	600	650	700	700
$t, ^\circ\text{C}$	660	700	680	670
$H_{np}, \text{ МВт}/\text{ м}^2$	2,5	2	3	3,5

### Задание №10

Содержание влаги в собранном рисе  $W_n, \%$ . При температуре воздуха  $T_2 = 30^\circ\text{C}$  и относительной влажности  $\varphi = 80\%$ , равновесная влажность.  $W_p = 16\%$ , плотность влажного воздуха  $\rho = 1,15 \text{ кг}/\text{м}^3$ , удельная теплота парообразования воды  $r = 2,4 \text{ МДж}/\text{кг}$ . Рис необходимо высушить до  $W_k = 16\%$ . Подсчитать, какое количество воздуха при температуре сушки  $t, ^\circ\text{C}$ , необходимо, чтобы просушить  $M, \text{ кг}$ . риса.

Таблица 10 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$W_n, \%$	28	26	30	24
$M, \text{кг.}$	45	50	40	45
$W_n, \%$	1000	800	1200	1000
$t, \text{°C}$	28	26	30	24

**Контрольные вопросы:**

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

**Список литературы:**

**Перечень основной литературы**

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>
2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск: НГТУ, 2014. - 459 с. :

табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

### ***Перечень дополнительной литературы***

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс]: учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

## ***Практическая работа №2***

***Тема:*** Расчет ветроэнергетических установок

***Цель:*** Рассмотреть технический потенциал ветровой энергии и расчет удельной мощности и удельной энергии ветрового потока

***Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:***

Обучающийся должен:

***знать:***

– развитие ветроэнергетики России

***уметь:***

– проводить расчет ветроэнергетической установки

***Формируемая компетенция:*** ПК-1

***Актуальность темы:***

Заключается в необходимости расчета удельной мощности и удельной энергии ветрового потока

***Теоретическая часть:***

Массовое количество воздуха, проходящего через ометаемую площадь в единицу времени равно:

$$m_1 = \rho * S * V_0$$

где  $\rho$  - плотность воздуха, 1,2 кг/м<sup>3</sup>;

$S$  - ометаемая площадь,  $\pi \cdot R^2$ , м<sup>2</sup>;

$V_0$  - скорость ветра до ветроколеса, м/с.

Сила, действующая на ветроколесо:

$$F = m_1 * (V_0 - V_2)$$

где  $V_2$  - скорость ветра после ветроколеса, м/с.

Скорость ветра  $V_l$  в плоскости ветроколеса:

$$V_1 = \frac{1}{2} * (V_0 - V_2)$$

Мощность ветрового потока:

$$P_0 = \frac{m_1 * (V_0^2 - V_2^2)}{2}$$

Быстроходность ветроколеса:

$$Z = \frac{V_r}{V_0} = \frac{R * \omega}{V_0}$$

где  $V_r$  - окружная скорость конца лопастей, м/с;

$\omega$  - угловая скорость ветроколеса.

### **Задания:**

#### **Задание №1**

Радиус ветроколеса  $R$ , м, скорость ветра до колеса  $V_0$ , м/с, после колеса  $V_2$ , м/с. Определить: скорость ветра в плоскости ветроколеса  $V_1$ , мощность ветрового потока  $P_0$ , мощность ветроустановки  $P$  и силу  $F$ , действующую на ветроколесо. Плотность воздуха  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ .

Таблица 11 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$R$ , м	20	25	30	35
$V_0$ , м/с	6	7	8	9
$V_2$ , м/с	3	3	3	4

### **Задание №2**

Через ометающее сечение  $S$  протекает воздушный поток со скоростью  $v$ . Определить кинетическую энергию ветроколеса  $E_в$ .  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ .

Таблица 12 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$S, \text{ м}^2$	150	200	180	80
$v, \text{ м/с}$	10	15	8	6

### **Задание №3**

Скорость ветра  $V_0$ , давящая на колесо сечением  $S$ , стационарной ветроустановки. Определить мощность  $P$ , ветроустановки.  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ .

Таблица 13 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$S, \text{ м}^2$	400	500	600	700
$V_0, \text{ м/с}$	6	7	8	9
$F, \text{ кг}\cdot\text{м/с}$	2100	3000	4000	5000

### **Задание №4**

Ветроустановка мощностью  $P$ , кВт, скорость ветра  $V_0$ , давящая на площадь колеса  $S$ ,  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ . Определить радиус ветроколеса и скорость ветра после ветроколеса.

Таблица 14 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$S, \text{ м}^2$	250	450	480	520
$V_0, \text{ м/с}$	8	9	10	12
$P, \text{ кВт}$	100	150	200	250

### ***Контрольные вопросы:***

1. Постройте таблицу эффективности использования ветроэнергетических установок в промышленно развитых странах Европы и Америки.
2. Что такое ветровой кадастр страны?
3. Перечислите регионы России, где:
  - целесообразны ветроэнергетические установки?
  - нецелесообразны?
4. Дайте определение кинетической энергии ветрового потока.
5. Как определяется мощность ветрового потока?
6. Как определяется мощность ветроэнергетической установки?
7. Что характеризует коэффициент мощности ветроэнергетической установки?
8. Перечислите характеристики ветрового потока.

### ***Список литературы:***

#### ***Перечень основной литературы***

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>
2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск: НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

### *Перечень дополнительной литературы*

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс]: учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

### ***Практическая работа №3***

***Тема:*** Использование энергии малых рек

***Цель:*** Изучить гидроаккумулирующие электростанции и основные принципы создания МГЭС

***Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:***

Обучающийся должен:

***знать:***

– основные принципы создания малых гидроэлектростанций.

***уметь:***

– рассчитывать гидроаккумулирующие электростанции.

***Формируемая компетенция:*** ПК-1

***Актуальность темы:***

Заключается в необходимости изучения основных принципов создания МГЭС

***Теоретическая часть:***

Если колесо турбины радиусом  $R$  вращается с угловой скоростью  $\omega$ , то мощность турбины  $P$  равна:

$$P = F * R * \omega$$

где  $F$  – сила, действующая на лопасть.

Скорость набегающего потока:

$$U_c^2 = 2 * g * H$$

где  $H$  – напор, м.

Радиус колеса

$$R = \frac{1}{2} * \frac{U_c}{\omega}$$

Размер лопасти  $r_l$  (радиус):

$$r_l = \frac{R}{(10 \dots 12)}$$

Максимальный КПД активных турбин  $\eta = 0.9$ . Коэффициент быстроходности  $\xi$ :

$$\xi = \frac{P^{\frac{1}{2}} * \omega}{\rho^{\frac{1}{2}} * (g * H)^{\frac{5}{4}}} = \frac{R_L}{R * 0.68 * (n_i * \eta)^{-\frac{1}{2}}}$$

где  $n_i$  – число сопел;  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – скорость свободного падения,  $g = 9,8$  с<sup>2</sup>/м.

Угловая скорость  $\omega$ , рад/с

$$\omega = \xi * \rho^{\frac{1}{2}} * (g * H)^{\frac{5}{4}} * P^{\frac{1}{2}}$$

где  $P$  – мощность турбины, Вт.

Диаметр колеса  $D$  турбины:

$$D = V/\omega$$

где  $V$  = скорость напора, м/с.

Скорость напора вычисляем из выражения:

$$V = (2 * g * H)^{0.5}$$

Мощность гидротурбины выражают через напор и расход:

$$P_T = 9,81 * Q * H * \eta_T$$

где  $P_T$  - мощность на валу гидротурбины, кВт;  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – напор нетто, м;  $\eta_T$  – КПД турбины при соответствующих  $H$ ,  $Q$  и частоте вращения.

Установленная мощность ГЭС, работающих без регулирующего бьефа с коэффициентом полезного действия гидроэнергетической установки 0,7, может быть определена по формуле

$$P_{уст} = 7 * Q_0 * k_{p\%} * H$$

или при наличии бьефа с суточным регулированием:

$$P_{уст} = 7 * Q_0 * k_{p\%} * H * \frac{24}{T}$$

где  $P_{уст}$  – установленная мощность, кВт;  $Q_0$  – норма стока, м<sup>3</sup>/с;  $k_{p\%}$  – расчетный модульный коэффициент  $p$  - % обеспеченности;  $H$  – напор, м;  $T$  – число часов работы станции в сутки.

Величину  $k_{p\%}$  определяют по максимальному коэффициенту использования водотока  $\varphi_c$ . Для определения  $\varphi_c$  необходимо рассмотреть следующие гидрологические характеристики использования водотока: кривые продолжительности средних суточных расходов или модульных коэффициентов, среднюю длительность использования данного расхода.

**Задания:**

**Задание №1**

Активная гидротурбина с одним соплом ( $n = 1$ ), мощностью  $P$  и рабочим напором  $H$ . Угловая скорость  $\omega$ , при которой достигается максимальный КПД  $\eta = 0,9$ . Определить диаметр  $D$  колеса турбины и угловую скорость  $\omega$ .

Таблица 15 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$P$ , кВт	10	20	30	40
$H$ , м	10	15	20	25

**Задание №2**

Микро ГЭС установлена на реке, с максимальной установленной мощностью  $P_{уст}$ , при 50% многолетнем расходе  $Q_o$ , с бьефом суточным регулированием, расчетный модульный коэффициент  $k_{p\%} = 0,35$ . Определить, для данной ГЭС суточный напор.  $H$ .

Таблица 16 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$P_{уст}$ , кВт	4,5	5	9,5	8
$Q_o$ , м <sup>3</sup> /с	0,5	0,5	1,5	1

### **Задание №3**

Микро ГЭС установлена на реке, Определить для этого гидроэнергетического района координаты равны  $M$ , л/с·км<sup>2</sup>, и установленную мощность  $P_{уст}$ , кВт, если известно, что многолетний расход  $Q_0$ , а площадь водосбора  $F$ , км<sup>2</sup>. расчетный модульный коэффициент  $k_{p\%}=0,45$ .

Таблица 17 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$F$ , кВт	965	1082	674	348
$Q_0$ , м <sup>3</sup> /с <sup>2</sup>	0.5	1.5	2	1

### **Задание №4**

Река создает давление (напор)  $H$ , м, для мини ГЭС максимальной мощностью  $P$ , кВт, и расход воды при этом  $Q$  м<sup>3</sup>/с, Определить КПД установки  $\eta_m$ .

Таблица 18 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$Q$ м <sup>3</sup> /с	0.2	0.2	0.0015	1.2
$H$ , м	2	3	4	73.8
Название установки	Stream Engine	LH 1000	Water Baby	Fuchun
$P$ , кВт	1	1	0.25	75

### **Контрольные вопросы:**

1. Охарактеризуйте гидроэнергетический потенциал России.
2. Дайте определение:
  - валового гидроэнергетического потенциала,
  - технического гидроэнергетического потенциала,

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

### ***Список литературы:***

#### ***Перечень основной литературы***

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>
2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск: НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

#### ***Перечень дополнительной литературы***

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс]: учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

## **Практическая работа №4**

**Тема:** Биогазовые установки.

**Цель:** Изучить расчет биогазовых установок.

**Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:**

Обучающийся должен:

**знать:**

– принцип работы биогазовых установок

**уметь:**

– рассчитывать биогазовые установки

**Формируемая компетенция:** ПК-1

**Актуальность темы:**

Заключается в необходимости применении расчетов биогазовых установок.

**Теоретическая часть:**

Возможный энергетический выход установки на биогаз определяется:

$$E = \eta * H_{\text{б}} * V_{\text{б}}$$

где  $\eta$  – КПД горелочного устройства = 0,6;

$H_{\text{б}}$  – удельная объёмная теплота сгорания биогаза = 20 МД ж/м<sup>3</sup> при парциальном давлении 101000 Па;

$V_{\text{б}}$  - объём получаемого биогаза, м<sup>3</sup>/сутки.

Объём биогаза определяется из выражения:

$$V_{\text{б}} = c * m_0$$

где  $c$  – выход биогаза из сухой массы (от 0,2 до 0,4 м<sup>3</sup>);

$m_0$  - масса сухого сбраживаемого материала, получаемого со всего стада (например, 2 кг/сутки на одну корову, умноженное на количество коров).

Объём жидкой массы, заполняющей биогазогенератор:

$$V_{\text{ж}} = \frac{m_0}{\rho_m}$$

где  $\rho_m$  – плотность сухого материала, распределённого в массе  $\rho_m = 50$  кг/м<sup>3</sup>).

Объём биогазогенератора  $V_{\Gamma}$ :

$$V_{\Gamma} = V_{\text{ж}} * t$$

где  $V_{\text{ж}}$  – скорость подачи сбраживаемой массы в генератор;

$t_2$  - время пребывания очередной порции в генераторе (от 8 до 20 суток).

Соотношение 5.1 для чистого метана, входящего в биогаз, имеет вид:

$$E = \eta * H_6 * V_6 * f_m$$

где  $H_6$  – удельная теплота сгорания метана при нормальных условиях - 28 МДж/м<sup>3</sup>;

$f_m$  - доля метана в биогазе (около 0,7).

### **Задания:**

#### **Задание №1**

Определить объём биогаза, получаемого с помощью биогазогенератора, утилизирующего навоз  $n$  коров, и обеспечиваемую им мощность. Подача сухого сбраживаемого материала от одного животного идёт со скоростью  $V_m$ , кг/сутки. Выход биогаза составляет  $C$  м<sup>3</sup>/кг. Эффективность горелочного устройства 0,68. Содержание метана в получаемом биогазе  $f_m$ . Время пребывания очередной порции в биогазогенераторе  $t_2$ .

Таблица 19 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$n$	50	100	200	400
$V_m$ , кг/сут.	3	3	6	8

$C \text{ м}^3/\text{с}$	0,24	0,3	0,4	0,5
$f_m$	0,8	0,7	0,7	0,6
$t_r$ , сутки	12	13	14	15

### **Задание №2**

Определить объём получаемого биогаза, получаемого с помощью биогазогенератора и возможный энергетический выход установки в коровнике, при КПД  $\eta$ , выход биогаза из сухой массы  $c$ , подаче сухого сбраживающего материала  $W$ .  $H_g = 20 \text{ МД ж/м}^3$

Таблица 20 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$n$ , голон	50	100	200	400
$\eta$ , КПД	0,6	0,7	0,5	0,6
$c$ , $\text{м}^3/\text{кг}$	0,2	0,3	0,4	0,25
$W$ , кг/сут	1,5	2	2,5	2

### **Контрольные вопросы:**

1. Назовите основной вид энергии, используемой в сельском хозяйстве.
2. Назовите долю энергии Солнца, идущую на фотосинтез.
3. Поясните понятие «невозобновляемые виды топлива».
4. Поясните понятие «возобновляемые виды топлива».
5. Дайте определение энергоносителю.
6. Чем отличается природный энергоноситель от произведенного?
7. Перечислите виды топливно-энергетических ресурсов как энергоготоваров по ИСО 13600.
8. Дайте определение топливу.
9. Дайте определению топливно-энергетическим ресурсам (ТЭР).
10. Дайте определение энергетическому эквиваленту.

11. Приведите перечень преимуществ применения биогаза в сельском хозяйстве.
12. Охарактеризуйте отрицательные стороны биодизеля.

### ***Список литературы:***

#### ***Перечень основной литературы***

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>

2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск: НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

#### ***Перечень дополнительной литературы***

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс]: учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

## **Практическая работа №5**

**Тема:** Системы аккумулирования тепловой энергии

**Цель:** Изучить

**Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:**

Обучающийся должен:

**знать:**

– применение систем аккумулирования тепловой энергии

**уметь:**

– рассчитывать аккумулирующие устройства тепловой энергии

**Формируемая компетенция:** ПК-1

**Актуальность темы:**

Заключается в необходимости расчета систем аккумулирования тепловой энергии.

**Теоретическая часть:**

Требуемое количество тепла  $Q$ , запасённого в аккумуляторе:

$$Q = \Pi * n * \tau * Z$$

где  $\Pi$  – расход тепла в сутки, кВт;

$n$  – количество суток;

$\tau$  – продолжительность расхода тепла в сутки, час;

$Z$  – переводной коэффициент 3.6 мДж/кВт·ч.

Требуемое количество воды:

$$V = \frac{Q}{\rho * c * \Delta T}$$

где  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – теплоёмкость воды, 4200 Дж/кг К;

$\Delta T$  – разность температур начальной и конечной аккумулятора, К.

Глубина  $h$  ёмкости аккумулятора, м:

$$h = \frac{V}{(A)}$$

где  $V$  – объём, м<sup>3</sup>;

$A$  – площадь, м<sup>2</sup>.

Термическое сопротивление  $R$  между аккумулятором и окружающей средой:

$$R = \frac{\tau * \text{сек}}{1,3 * V_M^3 * \rho * c}$$

Удельное термическое сопротивление  $r$  (м<sup>2</sup> К/Вт),:

$$r = R * A$$

Толщина покрытия  $d$  на верхней крышке ёмкости, м:

$$d = r * \lambda$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности изоляционного материала, (пенополистирол,  $\lambda = 0,04$  Вт/(м·К))

Плотность энергии  $q$ , запасённой в аккумуляторе, МДж/м<sup>3</sup>:

$$q = \frac{Q}{V}$$

Кинетическая энергия вращающегося тела  $E$  равна:

$$E = \frac{I * \omega^2}{2}$$

где  $I$  - момент инерции тела относительно его оси вращения;

$\omega$  - угловая скорость, рад/с

Для однородного диска момент инерции равен:

$$I = m * a^2$$

где  $m$  – масса диска;

$a$  – радиус диска.

Плотность энергии, запасаемой однородным диском:

$$W_M = \frac{E}{m} = \frac{a^2 * \omega^2}{2}$$

Время между зарядками маховика:

$$t = \frac{E^2}{P}$$

где  $E$  – энергия, Дж;

$P$  – мощность (Дж/с).

Потери тепла трубопроводом определяются выражением:

$$P_t = - \frac{\lambda * A * \Delta T}{x}$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К;

$A$  – площадь, м<sup>2</sup>;

$\Delta T$  – разность температур, К;

$x$  – толщина изоляции, м.

В пустынных районах необходимо снабжение питьевой водой, пресной водой для полива и т.д. Многие пустынные районы имеют подземные запасы солёной воды и обычно, дешевле опреснять воду, чем её привозить.

Так как в пустынях облучённость поверхности Земли высокая, можно использовать солнечную энергию для опреснения воды.

Самым простым устройством является солнечный дистиллятор – бассейн (рисунок 1). Он состоит из неглубокого бассейна с чёрными стенками и дном, заполненного водой и накрытого прозрачной паронепроницаемой крышкой. Крышка наклонена по направлению к потоку излучения.

Поток солнечной энергии, прошедший через крышку, нагревает воду, часть которой испаряется. Водяной пар поднимается вверх и конденсируется на холодной крышке. Затем капли сконденсированной влаги скатываются в приёмный жёлоб.

Чтобы определить производительность реального солнечного дистиллятора, необходимо вычислить, какая часть приходящей солнечной энергии расходуется на испарение. Тепловой баланс для единицы поверхности воды определится:

$$\frac{m * c * dT_B}{dt} = \alpha_B * \tau * G - q_B - q_{и} - q_K - q_{ис}$$

где  $q_{ис}$  – теплоперенос при испарении.

Удельный радиационный поток определится:  $\sigma$

$$q_{из} = 4 * \sigma_B * \left( \frac{T_B - T_D}{2} \right) * (T_B - T_D)$$

где  $T_D$  – температура крышки;

$\sigma_B$  – постоянная Стефана – Больцмана.

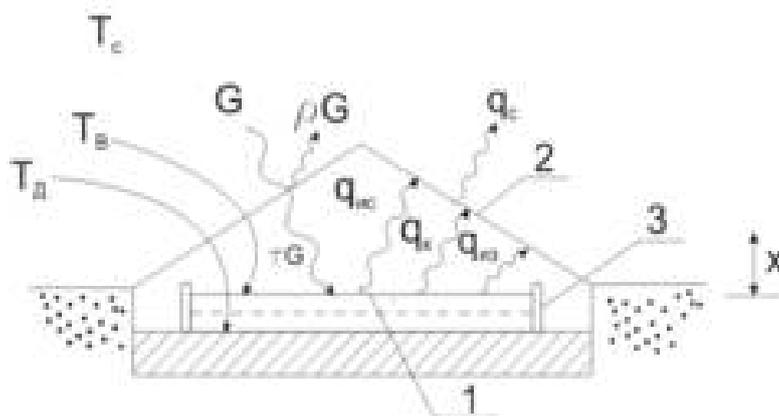


Рисунок 1 – Поток тепла в солнечном дистилляторе.

Обозначения: д - основание; и - испарение; к - конвекция; из - излучение; в - вода; с - окружающая среда; 1- нагретая поверхность; 2- холодная стенка; 3- жёлоб.

Конвективный тепловой поток запишем в виде:

$$q_k = k * (T_B - T_D)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Результирующий тепловой поток на единицу площади:

$$q_k = 2 * \rho * c * \left( \frac{Q}{A} \right) * \Delta T$$

Множитель 2 появляется вследствие того, что происходит движение нагретого пара вверх и охлаждённого вниз. Результирующую массу пара  $m'$ , которая переносится через единицу площади в единицу времени представим в виде:

$$W = \left( \frac{m'}{A} \right) = 2 * \left( \frac{Q}{A} \right) * \Delta \chi = h_k * \rho^{-1} * c^{-1} * \Delta \chi$$

где  $\chi$  – концентрация пара.

Тепловой поток через единицу площади, возникающий вследствие испарения воды, равен:

$$q_T = W * r$$

где  $r$  – удельная теплота парообразования воды.

Для дистиллятора, показанного на рисунке 1.

$$q_T = k * r * \rho^{-1} * c^{-1} * (\chi(T_B) - \chi(T_D))$$

Для размера  $x$ :

$$k = \frac{N * u * \lambda}{x}$$

$$Ra = g * \beta * x^3 * (T_B - T_D) * \lambda^{-1} * \nu^{-1}$$

Здесь для определения ( $\rho$ ,  $\lambda$  и т.д.) можно пользоваться данными для сухого воздуха.

Доля тепла, идущего на испарение, быстро возрастает при увеличении температуры воды.

### **Задания:**

#### **Задание №1**

Избыточная энергия аккумулируется с помощью маховика. Маховик разгоняется с помощью электродвигателя, подключенного к сети. Маховик представляет собой сплошной цилиндр массой  $M$ , кг, диаметром  $D$ , см. и может вращаться с частотой  $n$ , 1/мин. Определить: кинетическую энергию маховика при максимальной скорости. Среднее значение время между подключениями электродвигателя для зарядки, если средняя мощность, потребляемая автобусом, составляет  $P$ , кВт.

Таблица 21 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$M$ , кг	1000	1100	1200	1300
$D$ , см	210	200	180	170
$n$ , 1/мин	2500	2600	2700	3000
$P$ , кВт	1000	1100	1200	1300

## **Задание №2**

Трубопровод диаметром  $D$  используется для подачи тепла на расстояние  $L$ , м. Он изолирован с помощью теплоизоляционного материала с коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ , толщина изоляции  $X$ . Определить потери тепла вдоль трассы, если температура окружающего воздуха  $T_{\text{ср}}$ , а пар имеет температуру  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 22 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$D$ , см	20	30	40	5
$L$ , м	100	150	200	250
$\lambda$ , Вт/м·К	0.07	0.04	0.05	0.06
$X$ , см	4	5	3	4
$T_{\text{ср}}$ , $^{\circ}\text{C}$	-10	-5	0	10

### **Контрольные вопросы:**

1. Понятие аккумулятора, аккумулирующей системы и теплового аккумулирования.
2. Энергетический баланс теплового аккумулятора.
3. Классификация аккумуляторов тепла.
4. Системы аккумулирования, безнасосные и насосные системы.
5. Активные системы для получения горячей воды с тепловым аккумулированием.
6. Понятия массы аккумулирующей среды, давления и объема аккумулятора.

### **Список литературы:**

#### **Перечень основной литературы**

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва; Берлин

: Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>

2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск: НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

### ***Перечень дополнительной литературы***

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс]: учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

## Практическая работа №6

**Тема:** Использование геотермальной энергии

**Цель:** Изучить применение и расчет геотермальных источников

**Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:**

Обучающийся должен:

**знать:**

– применение геотермальной энергии

**уметь:**

– проводить расчет геотермальных источников

**Формируемая компетенция:** ПК-1

**Актуальность темы:**

Заключается в необходимости расчета геотермальных источников

**Теоретическая часть:**

Сухие скальные породы.

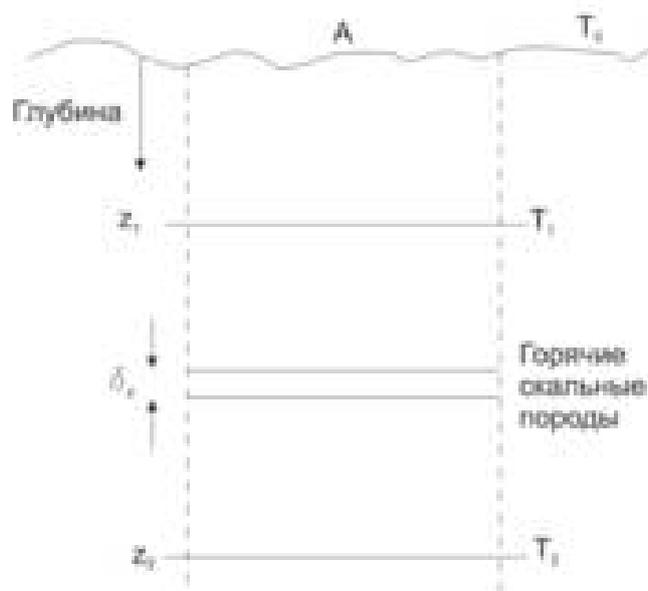


Рисунок 2 – Структура системы из сухих горных пород

Полное полезное теплосодержание скального грунта до глубины равно:

$$E_0 = \frac{\rho_{\Gamma} * A * c_{\Gamma} * Ж * (Z_2 - Z_1)^2}{2}$$

Пусть средняя температура горячих скальных пород равна  $\theta$ , тогда,

$$\theta = \frac{(T_2 - T_1)^2}{2} = \frac{Ж * (Z_2 - Z_1)^2}{2}$$

В этом случае  $E_0 = C_2 \cdot \theta$ ,

$$c_{\Gamma} = \rho_{\Gamma} * A * Ж * (Z_2 - Z_1)^2$$

Допустим, что тепло извлекается из пород равномерно, пропорционально температуре, с помощью потока воды, имеющего объёмный расход  $Q$ . Глотность  $\rho_{\text{в}}$ , удельную теплоёмкость  $c_{\text{в}}$ . В этом процессе вода нагревается до температуры  $\theta$ .

$$\theta = \theta_0 * e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$E = E_0 * e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Постоянная времени  $\tau$  определится:

$$\tau = \frac{\rho_{\text{в}} * A * c_{\Gamma} * (Z_2 - Z_1)}{Q * \rho_{\text{в}} * c_{\text{в}}}$$

В случае естественных водоносных пластов, залегающих на значительной глубине, источник тепла лежит внутри слоя воды. Часть пласта занята порами (коэффициент пористости  $p$ ), остальное пространство занято скальной породой с плотностью  $\rho_{\Gamma}$ .

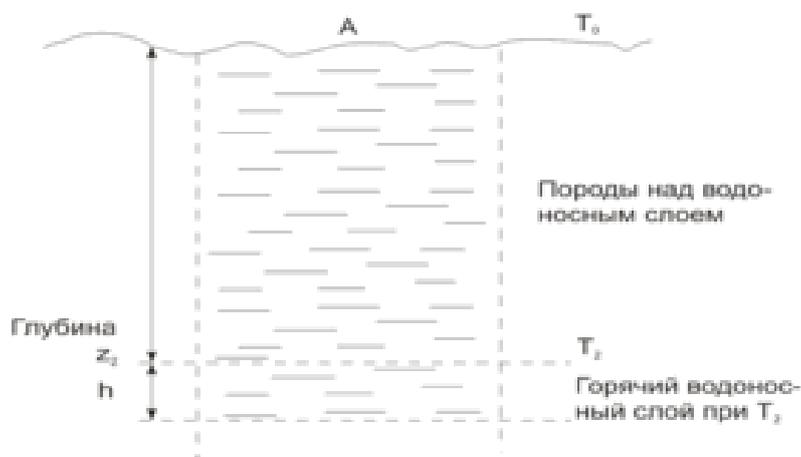


Рисунок 3 - Профиль горячего водоносного слоя

Предположим, что толщина водоносного слоя ( $h$ ) много меньше глубины его залегания ( $z_2$ ) и что соответственно температура всей массы жидкости равна  $T_2$ . Минимальная полезная температура равна  $T_1$ . Характеристики источника тепла определяются так, как это делалось для сухих скальных пород.

$$T_2 = T_0 + \left(\frac{dT}{dz}\right) * z = T_0 + Ж * z$$

$$\frac{E_0}{A} = c_{\Gamma} * (T_2 - T_1)$$

$$C_{\Gamma} = (\rho_{\Gamma} * \rho_{\text{в}} * c_{\text{в}} + (1 - \rho) * \rho_{\Gamma} * c_{\Gamma}) * h$$

Определим отбор тепла при объёмной скорости  $Q$  и величине  $\theta$ , превышающей  $T_1$ .

$$Q * \rho_{\text{в}} * c_{\text{в}} * \theta = -\frac{C_{\Gamma} * d\theta}{dt}$$

$$E = E_0 * \exp\left(-\frac{t}{\tau_a}\right)$$

$$\tau_a = -\frac{C_{\Gamma}}{Q * \rho_{\text{в}} * c_{\text{в}}} = \frac{(\rho_{\Gamma} * \rho_{\text{в}} * c_{\text{в}} + (1 - \rho) * \rho_{\Gamma} * c_{\Gamma}) * h}{Q * \rho_{\text{в}} * c_{\text{в}}}$$

Приливной потенциал  $\mathcal{E}_{\text{ном}}$  определяется по формуле Л.Б. Бернштейна:

$$\mathcal{E}_{\text{пот}} = 1,97 * 10^6 * R_{\text{ср}}^2 * F$$

### **Задания:**

#### **Задание №1**

Рассчитайте полезное теплосодержание  $E_0$  на  $1 \text{ км}^2$  сухой скальной породы (гранит) до глубины  $z$ , км. Температурный градиент равен  $G \text{ } ^\circ\text{C}/\text{км}$ . Минимальная допустимая температура, превышающая поверхностную,  $140\text{К}$ , плотность гранита,  $\rho_z = 2700\text{кг}/\text{м}^3$ , теплоёмкость гранита  $c_z = 820\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ . Чему равна постоянная времени,  $\tau$ , извлечения тепла при использовании в качестве теплоносителя воды, если объёмная скорость  $v$ ,  $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ ? Какова будет тепловая мощность, извлекаемая первоначально и через 10 лет?

Таблица 23 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
Z, км	7	6	5	6
G, °C/км	40	50	60	50
V, м <sup>3</sup> /(с·км <sup>2</sup> )	1	1.1	1.2	1.3

**Задание №2**

Определить начальную температуру  $t_2$  и количество геотермальной энергии  $E_0$  (Дж) водоносного пласта толщиной  $h$  км при глубине залегания  $z$  км, если заданы характеристики породы пласта: плотность  $\rho_{гр} = 2700 \text{ кг/м}^3$ ; пористость  $a$  %; удельная теплоёмкость  $c_{гр} = 840 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ . Температурный градиент  $(dT/dz)$  °C/км. Среднюю температуру поверхности  $t_0$  принять равной  $10^\circ\text{C}$ . Удельная теплоёмкость воды  $c_v = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ ; плотность воды  $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Расчёт произвести по отношению к плоскости поверхности  $F$  км<sup>2</sup>. Минимально допустимую температуру пласта принять равной  $t_1 = 40^\circ\text{C}$ . Площадь  $F = 1 \text{ км}^2$ . Определить постоянную времени извлечения тепловой энергии  $\tau_0$ (лет) при закачивании воды в пласт и расходе её  $V = \text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ . Какова будет тепловая мощность, извлекаемая первоначально  $(dE/d\tau)\tau = 0$  и через 10 лет?

Таблица 24 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
h, км	0.8	0.9	1.0	1.1
z, км	3.5	3.0	4.0	2.0
a, %	5	4	5	6
dT/dz, °C/км	65	70	75	80
V, м <sup>3</sup> /(с·км <sup>2</sup> )	1	1.2	1.1	1.3

### **Задание №3**

Каковы период, фазовая скорость и мощность волны на глубокой воде при длине волны  $\lambda$ , м и амплитуде  $a$ , м.

Таблица 25 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$\lambda$ , м	100	90	110	120
$a$ , м	1.5	1.4	1.6	1.7

### **Задание №4**

Как изменится мощность малой ГЭС, если напор водохранилища  $H$  в засушливый период уменьшится в  $n$  раз, а расход воды  $V$  сократится на  $m$  [%]? Потери в гидротехнических сооружениях, водоводах, турбинах и генераторах считать постоянными.

Таблица 26 – Варианты заданий

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$n$ , раз	1.1	1	1.5	2
$m$ , %	22	10	15	16.5

### **Контрольные вопросы:**

1. Как образуется тепло в недрах Земли?
2. Дайте определение теплопроводности, как свойству горных пород.
3. Дайте определение температуропроводимости горных пород.
4. Что такое геотермальный градиент?
5. Дайте определение геотермальной ступени.
6. Чем отличаются гидрогеотермальные ресурсы от петрогеотермальных ресурсов?

7. Дайте определение параметров геотермальных ресурсов:
  - валового потенциала,
  - технического потенциала,
  - экономического потенциала.
8. Какие существуют технологии добычи и использования геотермальной энергии?
9. Какие существуют схемы использования гидрогеотермальной энергии?
10. Какие существуют схемы использования петрогеотермальной энергии?
11. Дайте определение петрогеотермальной циркуляционной петли.
12. Нарисуйте технологические схемы геотермальных систем теплоснабжения.
13. Нарисуйте технологические схемы геотермальных электростанций.

***Список литературы:***

***Перечень основной литературы***

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>
2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск: НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

### *Перечень дополнительной литературы*

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс]: учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>