

**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ**

**НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ
В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

Методические указания к практическим занятиям



НОВОСИБИРСК 2020

УДК 620.92:631.14(07)

ББК 31.6:65.321, я7

Н 573

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

Составители: зав. лаб., ст. препод. *С.А. Никонов*;
канд. техн. наук, доц. *А.А. Горяев*;
канд. техн. наук, доц. *С.В. Петухов*;
канд. техн. наук, доц. *Н.Б. Баланцева*;
канд. техн. наук, доц. *С.В. Бутаков*.

Рецензент канд. техн. наук, доц. *Е.И. Гаршина*

Нетрадиционные источники энергии в агропромышленном комплексе:
метод. указания к практическим занятиям / Новосиб. гос. аграр. ун-т,
Инженер. ин-т; сост.: С.А. Никонов, А.А. Горяев, С.В. Петухов [и др.]. –
Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2020. – 44 с.

Методические указания содержат основные теоретические положения
и примеры задач для проведения практических занятий.

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по на-
правлению подготовки 35.03.06 – Агроинженерия.

Утверждены учебно-методическим советом Инженерного института
НГАУ (протокол № _ от _____20__ г.).

© Новосибирский государственный
аграрный университет, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Неотъемлемой частью энергетических установок (хотя и незаметно) являются нетрадиционные источники энергии в АПК. Их использование встает на первый план, когда по каким-либо причинам пропадает электричество.

У такого вида источников электрической энергии много как достоинств, так и недостатков. Казалось бы, что все виды нетрадиционных и возобновляемых источников энергии давно изучены, ученые совершенствуют старые технологии и на их основе придумывают новые способы получения энергии.

Современное технологическое общество нуждается в выпуске квалифицированных кадров, чей уровень качества подготовки является системообразующим фактором в динамической системе учебного процесса по ООП и предполагает логическую последовательность изучения данной дисциплины.

В результате изучения дисциплины студент должен:

- **знать:** – зарубежный опыт использования источников возобновляемой энергии;
 - источники возобновляемой энергии, способы ее управления, накопления и использования в сельском хозяйстве;
 - конструкции, принципы работы и область применения солнечных нагревателей, ветроустановок и теплообменников;
 - особенности конструкции с учетом экологических и экономических причин.
- **уметь:** – производить элементарные расчеты гелио и ветроустановок, теплообменников и других устройств, использующих возобновляемую и вторичную энергию.
- **владеть:** – методиками расчета нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

В методических указаниях представлены практические занятия, а также примеры решения задач, необходимые для успешного освоения данной дисциплины.

Издание предназначено для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 35.03.06 – Агроинженерия.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Настоящие методические указания предназначены для выполнения практических заданий студентами НГАУ всех форм обучения по направлению подготовки 35.03.06 – Агроинженерия. Данные методические указания содержат формулы и определения основных разделов рабочей программы изучаемого материала, а также примеры задач, которые выполняются на подгрупповых занятиях по вариантам.

В первую очередь студентам необходимо изучить материалы индивидуального задания контрольной работы, так как подобные задания могут присутствовать в ходе выполнения практических занятий.

Студент, приступая к заданиям, должен изучить теоретический материал, предусмотренный в курсе лекций в рамках рабочей программы бакалавриата, а также расписаться в журнале по технике безопасности, так как лаборатории техносферной безопасности имеют повышенный риск поражения электрическим током.

Техника безопасности

1. КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ производить какие-либо операции на распределительном щите лаборатории, за исключением операции отключения питания всей лаборатории при несчастном случае, когда поблизости нет преподавателя или лаборанта.

2. При работе персонального компьютера и проектора ЗАПРЕЩАЕТСЯ производить какие-либо операции на данном оборудовании, за исключением тех случаев, если вам было дано разрешение преподавателем или лаборантом, а также с учетом пункта 1.

3. КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ включать автоматические выключатели на стендах без разрешения преподавателя или лаборанта. За умышленную порчу приборов студент несет материальную ответственность.

4. Запрещается прикасаться руками к зажимам, находящимся под напряжением.

5. Категорически ЗАПРЕЩАЕТСЯ облакачиваться на установки и элементы схем стендов.

6. При раздаче наглядных пособий, литературы и другого имущества кафедры ЗАПРЕЩАЕТСЯ их выносить из лаборатории без согласования с преподавателем.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

Использование солнечной энергии

1. Основные формулы и определения

При использовании солнечной энергии в основном применяются солнечные коллекторы. Солнечный коллектор используется для нагрева жидкости. Поток солнечной энергии Q_c , поглощаемой поверхностью приемника, составляет:

$$Q_c = \tau_{\text{пр}} \cdot \alpha_{\text{пр}} \cdot A_{\text{п}} \cdot G, \text{ Вт},$$

где G – облученность приемника, Вт/м²;

$A_{\text{п}}$ – площадь освещенной поверхности, м²;

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

$\alpha_{\text{пр}}$ – коэффициент поглощения приемной поверхностью солнечного излучения, 0,85–0,9.

В процессе поглощения температура приемной поверхности повышается. Повышение температуры приемника $T_{\text{пр}}$ над температурой окружающей среды $T_{\text{ср}}$ приводит к возникновению потока от приемника, причем скорость теплоотдачи равна $(T_{\text{пр}} - T_{\text{ср}}) / R_{\text{T}}$, где R_{T} – термическое сопротивление. Теплоотдача приемника в окружающую среду:

$$Q_{\text{T}} = \frac{A_{\text{п}} \cdot (T_{\text{пр}} - T_{\text{ср}})}{R_{\text{T}}}, \text{ Вт},$$

где $T_{\text{пр}}$ – температура приемника, °С;

$T_{\text{ср}}$ – температура окружающей среды, °С;

R_{T} – термическое сопротивление, К/Вт.

Суммарный поток тепла Q_{Σ} , поступающего к приемной площадке, определяется балансом (уравнение солнечного коллектора):

$$Q_{\Sigma} = \tau_{\text{пр}} \cdot \alpha_{\text{пр}} \cdot A_{\text{п}} \cdot G - \frac{(T_{\text{пр}} - T_{\text{ср}})}{R_{\text{T}}} = \eta_{\text{и}} \cdot A_{\text{п}} \cdot G,$$

где $\eta_{\text{и}}$ – коэффициент захвата излучения, 0,85.

Коэффициент k определяет долю суммарного потока Q_{Σ} , передаваемую жидкости. В приемниках хорошего качества разность между температурами приемной площадки и жидкости мала и коэффициент теплопередачи лишь немного меньше единицы. Таким образом, поток тепла от приемника солнечного излучения к теплоносителю определяется соотношением:

$$Q_{\text{ж}} = k \cdot Q_{\Sigma},$$

Поток тепла при нагревании массы жидкости m :

$$Q_{\text{ж}} = \frac{m \cdot c \cdot dT_{\text{ж}}}{dt},$$

где $T_{\text{ж}}$ – температура жидкости, °С;
 c – теплоемкость жидкости, Дж/(кг К).

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

$$Q_{\text{ж}} = m_1 \cdot c \cdot (T_2 - T_1),$$

где T_1 – температура входящей жидкости в приемник, °С;
 T_2 – выходящей, °С;
 m_1 – массовый расход жидкости в трубе, кг/с.

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

$$q = \frac{\Delta T}{r}, \text{ Вт/м}^2,$$

$$Q = q \cdot A = \frac{\Delta T \cdot A}{r}, \text{ Вт},$$

$$R_r = \frac{r}{A}, \frac{\text{К}}{\text{Вт}}, \quad r = R \cdot A, \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}},$$

где r – удельное термическое сопротивление, м²·К/Вт.

$$q = \alpha \cdot \Delta T,$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К).

$$\alpha = 1/r.$$

Механизмы теплопереноса обозначаются различными нижними индексами у параметров R , r или α , а именно n – для теплопроводности, k – для конвекции, (из) – для излучения, ж – для жидкости. Количество тепла Q , переносимого в результате через пластину толщиной Δx и площадью $A_{\text{п}}$ при разности температур ее поверхности, равно:

$$Q = -\lambda \cdot A_{\text{п}} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x},$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

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

$$R_{\text{п}} = \frac{\Delta x}{\lambda \cdot A_{\text{п}}},$$

и полное удельное термическое сопротивление:

$$r_{\text{п}} = R_{\text{п}} \cdot A_{\text{п}} = \frac{\Delta x}{\lambda}.$$

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

Время, необходимое для повышения температуры:

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

$$C_{\text{ж}} = m \cdot c,$$

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

c – удельная теплоемкость;

m – масса жидкости.

Тогда уравнение теплового баланса может выглядеть как:

$$\frac{m \cdot c \cdot dT_{\text{ж}}}{dt} = \tau_{\text{пр}} \cdot \alpha_{\text{п}} \cdot A \cdot G - \frac{T_{\text{ж}} - T_{\text{сп}}}{R_{\text{п}}},$$

где $R_{\text{п}}$ – полное термическое сопротивление промежутка между приемной поверхностью резервуара и окружающим воздухом, К/Вт.

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

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

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

Полное термическое сопротивление «промежутка приемная поверхность нагревателя – стеклянная крышка»:

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

Подогреватели воздуха

Энергия, передаваемая воздуху от поглощающей поверхности в единицу времени:

$$P_{\text{и}} = q \cdot c \cdot Q_{\text{п}} \cdot \left(T_2 - T_1 \right),$$

где ρ – плотность воздуха, $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$;

c – теплоемкость воздуха, 1 кДж/(кг·К);

T_1 и T_2 – температура входящего и выходящего воздуха, °С;

Q_p – объемный расход воздуха, м³.

Зерносушилки

Абсолютная влажность зерна определяется по формуле:

$$W = \frac{m - m_0}{m_0},$$

где m – текущая масса пробы;

m_0 – масса сухого вещества пробы.

Во время просушивания зерно будет отдавать влагу окружающему воздуху до тех пор, пока не будет достигнуто равновесное содержание влаги, которое зависит от температуры и влажности окружающего воздуха (принимается из таблиц).

В процессе выпаривания массы воды m_v объем воздуха V охлаждается от T_1 до T_2 :

$$m_v \cdot r = \rho \cdot c \cdot V \cdot (T_1 - T_2),$$

где r – удельная теплота парообразования воды, при $\rho = 0,1$ МПа и $T = 100$ °С, $r = 2257$ кДж/кг.

Солнечные отопительные системы

Тепловой баланс внутри здания описывается уравнением:

$$\frac{m \cdot c \cdot dT_r}{dt} = \frac{\tau_{np} \cdot \alpha_n \cdot G \cdot A_n - (T_r - T_{cp})}{R_r},$$

где T_r – комфортная температура в помещении, °С;

A_n – площадь приемника, м²;

G – интенсивность солнечного излучения, Вт/м².

Если температура в комнате постоянна, то:

$$\tau_{np} \cdot \alpha_n \cdot G = \frac{(T_r - T_{cp})}{r},$$

где τ_{np} – пропускание стекла, 0,9;

α_n – коэффициент поглощения стенки, 0,8;

r – термическое сопротивление потерям из комнаты наружу вертикального окна с одним стеклом, $r = 0,07$ м² К/Вт.

Температура воздуха в доме с течением времени определяется по формуле:

$$T_r - T_{cp} = (T_r - T_{cp})_0 \cdot \exp\left[\frac{-t}{RC}\right],$$

где $R = r \cdot A_n^{-1}$;

$$C = m \cdot c;$$

m – масса стенки, кг;

c – удельная теплоемкость; для бетона $c = 840$ Дж/(кг · К).

КПД солнечной батареи:

$$\eta = \frac{P_n}{A_n \cdot G}.$$

ЭДС солнечной батареи:

$$E = \frac{P_n}{I^2},$$

где I – величина тока, А.

P_n – мощность солнечной батареи, Вт.

Производительность солнечного дистиллятора Π определяется:

$$\Pi = \frac{G}{r}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{день},$$

где G – поток излучения, МДж/м² · день;

r – удельная теплота парообразования, 2,4 МДж/кг.

2. Решение задач

Задача 1. Использование солнечной энергии для отопления жилого дома, окрашенного в черный цвет / выполненного темным материалом.

«Черный солнечный дом» с большим окном с южной стороны размером $H \cdot L$ (высота, длина) и массивной зачерненной стенкой с северной стороны. Толщина поглощающей стенки, изготовленной из бетона (ϵ), его плотность $\rho = 2,4 \cdot 10^3$ кг/м³, коэффициент пропускания стекла $\tau_n = 0,9$, коэффициент поглощения стенки $\alpha_n = 0,8$.

Определить, какой требуется поток солнечного излучения, чтобы нагреть воздух в комнате на 20 °С выше наружного.

Определить температуру воздуха в доме в 8 часов утра, т. е. через 16 часов. Температура наружного воздуха $T_1 = 0$ °С. Теплоемкость бетона $c = 840$ Дж/кг·К. Удельное термическое сопротивление потерям тепла из комнаты наружу через стекло $r = 0,07$ м²·К/Вт.

В таблице 1 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 1

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
$H, \text{ м}$	3	4	5	3
$L, \text{ м}$	5	3	6	4
$v, \text{ м}$	0,1	0,2	0,3	0,4

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

В таблице 2 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 2

Величина	Вариант			
	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

Задача 3. Солнечная батарея состоит из (n) фотоэлементов, мощность каждого при 1,5 Вт, размер батареи – $20 \cdot 30 \text{ см}$. Определить КПД (η) солнечной батареи, если плотность потока составляет $G, \text{ Вт/м}^2$.

В таблице 3 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 3

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

Задача 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 (η).

В таблице 4 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 4

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
$S, \text{ м}^2$	0,25	0,3	0,4	0,5

Продолжение таблицы 4

Величина	1	2	3	4
$i, \text{А/см}^2$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
$G, \text{Вт/м}^2$	300	400	500	400
η	0,30	0,25	0,26	0,27

Задача 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 аккумулируемую батарею, если известно, что кремниевый элемент имеет ЭДС – $E = 0,5$ В, при токе 0,5 А. Расход энергии на заряд батареи на 20 % больше, чем энергия, отдаваемая потребителю при разряде.

В таблице 5 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 5

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
$U, \text{В}$	8	9	10	11
$I, \text{А}$	3,0	2,5	3,0	3,5

Задача 6. Приемник расположен на теплоизоляторе с коэффициентом теплопроводности λ , Вт/м · К, удельное термическое сопротивление поверхности приемника $r = 0,13$ м²·К/Вт. Определить какой толщины требуется изоляция, чтобы обеспечить термическое сопротивление дна, равное сопротивлению поверхности.

В таблице 6 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 6

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
$\lambda, \text{Вт/м} \cdot \text{К}$	0,034	0,1	0,05	0,013

Задача 7. Определить температуру трубки $T_{\text{тр}}$ вакуумированного приемника, если внутренний диаметр трубки – d , см, поток солнечной энергии – G , Вт/м², температура среды – $T_{\text{ср}}$. Сопротивление потерям тепла $R = 10,2$ К/Вт, коэффициент пропускания стеклянной крышки $\beta = 0,9$, коэффициент поглощения (доля поглощенной энергии), $\alpha_{\text{п}} = 0,85$.

В таблице 7 представлены четыре варианта задания для группы сту-

дентов.

Варианты задания

Таблица 7

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

Задача 8. Площадь солнечного дистиллятора $B \cdot L$, м². Поток излучения составляет G , МДж/м² в день. Удельная теплота парообразования воды $r = 2,4$ МДж/кг. Определить производительность дистиллятора.

В таблице 8 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 8

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
B , м	5	5	10	15
L , м	5	10	15	5
G , МДж/м · день	20	15	10	10

Задача 9. На солнечной электростанции башенного типа установлено n гелиостатов, каждый из которых имеет поверхность $F_{\text{г}}$. Гелиостаты отражают солнечные лучи на приемник, на поверхности которого зарегистрирована максимальная энергетическая освещенность $H_{\text{пр}}$. Коэффициент отражения гелиостата $K_{\text{г}} = 0,8$, коэффициент поглощения $\alpha_{\text{пог}} = 0,95$. Максимальная облученность зеркала гелиостата – $G_{\text{г}}$. Определить площадь поверхности приемника $F_{\text{пр}}$ и тепловые потери в нем, вызванные излучением и конвекцией, если рабочая температура теплоносителя составляет t °С. Степень черноты приемника $\epsilon_{\text{пр}} = 0,95$. Конвективные потери вдвое меньше потерь от излучения. Коэффициент излучения абсолютно черного тела $C_0 = 5,67$ Вт/(м² · К⁴).

В таблице 9 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 9

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
n	263	300	280	270
$F_{\text{г}}$, м ²	58	50	60	55
G , Вт/м ²	600	650	700	700
t , °С	660	700	680	670

Продолжение таблицы 9

Величина	1	2	3	4
$H_{пр}, \text{МВт/м}^2$	2,5	2	3	3,5

Задача 10. Содержание влаги в собранном рисе составляет $W_n, \%$. При температуре воздуха $T_2 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности $\varphi = 80 \%$, равновесная влажность. $W_p = 16 \%$, плотность влажного воздуха $\rho = 1,15 \text{ кг/м}^3$, удельная теплота парообразования воды $r = 2,4 \text{ МДж/кг}$. Рис необходимо высушить до $W_k = 16 \%$. Подсчитать, какое количество воздуха при температуре сушки $t, \text{ }^\circ\text{C}$, необходимо, чтобы просушить M , кг. риса.

В таблице 10 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 10

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

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

Ветроэнергетика

1. Основные формулы и определения

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

$$m_1 = \rho \cdot S \cdot V_0, \text{ кг/с},$$

где ρ – плотность воздуха, $1,2 \text{ кг/м}^3$;

S – ометаемая площадь, $\pi \cdot R^2, \text{ м}^2$;

V_0 – скорость ветра до ветроколеса, м/с.

Сила, действующая на ветроколесо:

$$F = m_1 \cdot (V_0 - V_2), \text{ кг}\cdot\text{м/с}^2,$$

где V_2 – скорость ветра после ветроколеса, м/с.

Скорость ветра V_1 в плоскости ветроколеса:

$$V_1 = \frac{1}{2} \cdot (V_0 + V_2), \text{ м/с}.$$

Мощность ветрового потока:

$$P_0 = \frac{\rho \cdot S \cdot V_0^3}{2}, \text{ Вт}.$$

Мощность ветроустановки равна той мощности, которую теряет ветер при прохождении ветроколеса:

$$P = \frac{m_1 \cdot (V_0^2 - V_2^2)}{2} \cdot \eta_{\text{вт.}}$$

Быстроходность ветроколеса:

$$Z = \frac{V_r}{V_0} = \frac{R \cdot \omega}{V_0},$$

где V_r – окружная скорость конца лопастей, м/с;

ω – угловая скорость ветроколеса.

Примечани. Пример расчета ветроэнергетического кадастра представлен в Прил. 1.

2. Решение задач

Задача 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 $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

В таблице 11 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 11

Величина	Вариант			
	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

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

В таблице 12 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 12

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
S , м ²	150	200	180	80
v , м/с	10	15	8	6

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

В таблице 13 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 13

Величина	Вариант			
	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

Задача 4. Ветроустановка имеет мощность P , кВт, скорость ветра V_0 давит на площадь колеса S при $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$. Определить радиус ветроколеса и скорость ветра после ветроколеса.

В таблице 14 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 14

Величина	Вариант			
	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

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Гидроэнергетика

1. Основные формулы и определения

Если колесо турбины радиусом R вращается с угловой скоростью ω , то мощность турбины P равна:

$$P = F \cdot R \cdot \omega,$$

где F – сила, действующая на лопасть.

Скорость набегающего потока:

$$U_c^2 = 2 \cdot g \cdot H, \text{ м/с},$$

где H – напор, м.

Радиус колеса

$$R = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_c}{\omega}, \text{ м}.$$

Размер лопасти r_l (радиус):

$$r_{\text{л}} = \frac{R}{(10 \dots 12)}, \text{ м.}$$

Максимальный КПД активных турбин $\eta = 0,9$. Коэффициент быстроходности ξ :

$$\xi = \frac{P^{\frac{1}{2}} \cdot \omega}{\rho^{\frac{1}{2}} \cdot \zeta \cdot H^{\frac{5}{4}}} = \frac{R_{\text{л}}}{R \cdot 0,68 \cdot \zeta_1 \cdot \eta^{\frac{1}{2}}},$$

где n_1 – число сопел;

ρ – плотность воды, кг/м³;

g – скорость свободного падения, равная 9,8 с²/м.

Угловая скорость ω , рад/с:

$$\omega = \xi \cdot \rho^{\frac{1}{2}} \cdot \zeta \cdot H^{\frac{5}{4}} \cdot P^{\frac{1}{2}},$$

где P – мощность турбины, Вт.

Диаметр колеса D турбины:

$$D = V / \omega,$$

где V – скорость напора, м/с.

Скорость напора вычисляется из выражения:

$$V = \zeta \cdot g \cdot H^{\frac{0,5}{4}}.$$

Гидротурбина

Мощность гидротурбины выражают через напор и расход:

$$P_{\text{т}} = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{\text{т}},$$

где $P_{\text{т}}$ – мощность на валу гидротурбины, кВт;

Q – расход воды, м³/с;

H – напор нетто, м;

$\eta_{\text{т}}$ – КПД турбины при соответствующих H , Q и частоте вращения.

МикроГЭС

Установленная мощность ГЭС, работающих без регулирующего бьефа с КПД гидроэнергетической установки, равным 0,7, может быть определена по формуле:

$$P_{\text{уст}} = 7 \cdot Q_0 \cdot k_{\text{р\%}} \cdot H,$$

или при наличии бьефа с суточным регулированием:

$$P_{\text{уст}} = 7 \cdot Q_0 \cdot k_{\text{р\%}} \cdot H \cdot \frac{24}{T},$$

где $P_{уст}$ – установленная мощность, кВт;
 Q_o – норма стока, м³/с;
 $k_{p\%}$ – расчетный модульный коэффициент, р – % обеспеченности;
 H – напор, м;
 T – число часов работы станции в сутки.

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

Примечание. Пример расчета установленной мощности и режима работы ГЭС на малой реке представлен в прил. 2.

2. Решение задач

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

В таблице 15 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 15

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

Задача 2. МикроГЭС установлена на реке, с максимальной установленной мощностью $P_{уст}$, при 50 % многолетнем расходе Q_o , с бьефом суточного регулирования, расчетный модульный коэффициент $k_{p\%} = 0,35$. Определить для данной ГЭС суточный напор H .

В таблице 16 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 16

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
$P_{уст}$, кВт	4,5	5	9,5	8
Q_o , м ³ /с ²	0,35	0,5	1,5	1

Задача 3. МикроГЭС установлена на реке. Определить для этого гидроэнергетического района, координаты равные M , л/с · км², и установлен-

ную мощность $P_{уст}$, кВт, если известен многолетний расход Q_0 , и площадь водосбора – F , км². Расчетный модульный коэффициент $k_{р\%} = 0,45$.

В таблице 17 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 17

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
F , км ²	965	1082	674	348
Q_0 , м ³ /с ²	0,5	1,5	2	1

Задача 4. Река создает давление (напор) H , м для миниГЭС максимальной мощностью P , кВт, и с расходом воды – Q , м³/с. Определить КПД установки η .

В таблице 18 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 18

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
	Название установки			
	Stream Engine	LH 1000	Water Baby	Fuchun
Q , м ³ /с	0,2	0,2	0,0015	1,2
H , м	2	3	4	73.8 м
P , кВт	1	1	0,25	75

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

Биотопливо

1. Основные формулы и определения

Возможный энергетический выход установок на биогаз определяется:

$$E = \eta \cdot H_6 \cdot V_6,$$

где η – КПД горелочного устройства равный 0,6;

H_6 – удельная объемная теплота сгорания биогаза, равная 20 МДж/м³ при парциальном давлении 101000 Па;

V_6 – объем получаемого биогаза, м³/сут.

Объем биогаза определяется из выражения:

$$V_6 = c \cdot m_0,$$

где c – выход биогаза из сухой массы (от 0,2 до 0,4 м³);

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

Объем жидкой массы, заполняющей биогазогенератор:

$$V_{\text{ж}} = \frac{m_0}{\rho_{\text{м}}},$$

где $\rho_{\text{м}}$ – плотность сухого материала, распределенного в массе $\rho_{\text{м}} = 50$ кг/м³).

Объем биогазогенератора $V_{\text{Г}}$:

$$V_{\text{Г}} = V_{\text{ж}} \cdot t_{\text{Г}},$$

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

$t_{\text{Г}}$ – время пребывания очередной порции в генераторе (от 8 до 20 суток).

Соотношение пять к одному для чистого метана, входящего в биогаз, имеет вид:

$$E = \eta \cdot H_{\text{б}} \cdot V_{\text{б}} \cdot f_{\text{м}},$$

где $H_{\text{б}}$ – удельная теплота сгорания метана при нормальных условиях соответствующая 28 МДж/м³;

$f_{\text{м}}$ – доля метана в биогазе (около 0,7).

2. Решение задач

Задача 1. Определить объем биогаза, получаемого с помощью биогазогенератора, утилизирующего навоз n коров, и обеспечиваемую им мощность. Подача сухого сбраживаемого материала от одного животного идет со скоростью $V_{\text{м}}$, кг/сутки. Выход биогаза составляет C , м³/кг. Эффективность горелочного устройства – 0,68. Содержание метана в получаемом биогазе – $f_{\text{м}}$. Время пребывания очередной порции в биогазогенераторе – $t_{\text{Г}}$.

В таблице 19 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 19

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
n	50	100	200	400
$V_{\text{м}}$, кг/сут	3	3	6	8
C , м ³ /кг	0,24	0,3	0,4	0,5
$f_{\text{м}}$	0,8	0,7	0,7	0,6
$t_{\text{Г}}$, сут	12	13	14	15

Задача 2. Определить объем биогаза, получаемого с помощью биогазогенератора, и возможный энергетический выход установки в коровнике при КПД – η , выход биогаза из сухой массы – c , подаче сухого сбраживающего материала $W \cdot H_6 = 20$ МДж/м³.

В таблице 20 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 20

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
n , голов	50	100	200	400
η , КПД	0,6	0,7	0,5	0,6
c , м ³ /кг	0,2	0,3	0,4	0,25
W , кг/сут	1,5	2,0	2,5	2,0

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

Вторичная энергия

1. Основные формулы и определения

Аккумулятивное тепло

Требуемое количество тепла Q , запасенного в аккумуляторе:

$$Q = P \cdot n \cdot \tau \cdot Z, \text{ МДж,}$$

где P – расход тепла в сутки, кВт;

n – количество суток;

τ – продолжительность расхода тепла в сутки, час;

Z – переводной коэффициент, равный 3,6 мДж/кВт · ч.

Требуемое количество воды:

$$V = \frac{Q}{(\rho \cdot c \cdot \Delta T)}, \text{ м}^3,$$

где ρ – плотность воды, кг/м³;

c – теплоемкость воды, 4200 Дж/кг · К;

ΔT – разность температур начальной и конечной аккумулятора, К.

Глубина h емкости аккумулятора, м:

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

где V – объем, м³;

A – площадь, м².

Термическое сопротивление R между аккумулятором и окружающей средой:

$$R = \frac{\tau \cdot \text{сек}}{1,3 \cdot V_M^3 \cdot \rho \cdot c}, \text{ К/Вт.}$$

Удельное термическое сопротивление r , м² К/Вт:

$$r = R \cdot A.$$

Толщина покрытия d на верхней крышке емкости, м:

$$d = r \cdot \lambda.$$

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

Плотность энергии q , запасенной в аккумуляторе, МДж/м³:

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

Механическое аккумулялирование

Кинетическая энергия вращающегося тела E равна:

$$E = \frac{I \cdot \omega^2}{2}.$$

где I – момент инерции тела относительно его оси вращения;
 ω – угловая скорость, рад/с.

Для однородного диска момент инерции равен:

$$I = m \cdot a^2,$$

где m – масса диска;
 a – радиус диска.

Плотность энергии, запасаемой однородным диском:

$$W_m = \frac{E}{m} = \frac{a^2 \cdot \omega^2}{2},$$

Время между зарядками маховика:

$$t = \frac{E^2}{P}, \text{ с,}$$

где E – энергия, Дж;
 P – мощность (Дж/с).

Передача энергии

Потери тепла трубопроводом определяются выражением:

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

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м · К;
 A – площадь, м²;
 ΔT – разность температур, К;
 x – толщина изоляции, м.

Опреснение воды

В пустынных районах необходимо снабжение питьевой водой, пресной водой для полива и т. д. Многие пустынные районы имеют подземные запасы соленой воды и обычно дешевле опреснять воду, чем ее привозить. Так как в пустынях облученность поверхности Земли высокая, можно использовать солнечную энергию для опреснения воды.

Самым простым устройством является солнечный дистиллятор бассейнового типа (рис. 1). Он состоит из неглубокого бассейна с черными 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 приемный желоб.

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

$$\frac{m \cdot c \cdot dT_{\text{в}}}{dt} = \alpha_{\text{в}} \cdot \tau \cdot G - q_{\text{в}} - q_{\text{и}} - q_{\text{к}} - q_{\text{ис}},$$

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

Удельный радиационный поток определяется:

$$q_{\text{и}} = 4 \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot \left(\frac{T_{\text{в}} - T_{\text{д}}}{2} \right)^3 \cdot \left(\epsilon_{\text{в}} - T_{\text{д}} \right),$$

где $T_{\text{д}}$ – температура крышки;
 $\sigma_{\text{в}}$ – постоянная Стефана – Больцмана.

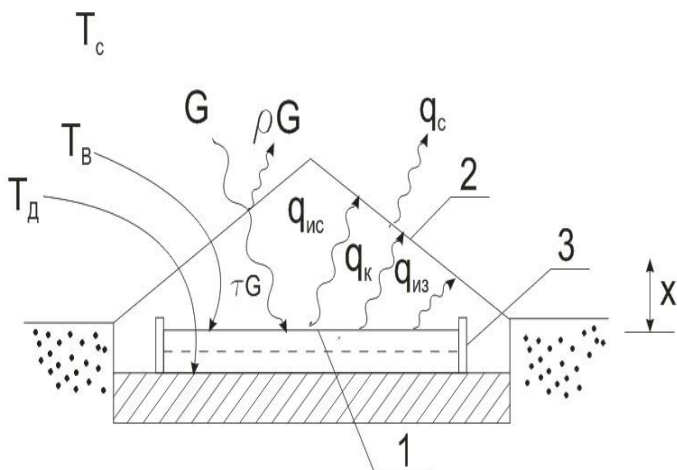


Рис. 1 – Поток тепла в солнечном дистилляторе.

Обозначения: T_d – основание; $q_{ис}$ – испарение; q_k – конвекция; $q_{из}$ – излучение; T_b – вода; T_c – воздух; q_c – окружающая среда; 1 – нагретая поверхность; 2 – холодная стенка; 3 – желоб, G – облученность приемника, ρG – преломленная облученность

Конвективный тепловой поток:

$$q_k = \kappa \cdot (T_b - T_d)$$

где κ – коэффициент теплопередачи Вт/(м² · К).

Результирующий тепловой поток на единицу площади:

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

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

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

где χ – концентрация пара.

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

$$q_T = W \cdot r,$$

где r – удельная теплота парообразования воды.

Для дистиллятора, показанного на рис. 1:

$$q_T = \kappa \cdot r \cdot \rho^{-1} \cdot c^{-1} \cdot \left[\left(\epsilon_{\text{в}} - \epsilon_{\text{д}} \right) \cdot \chi \cdot \left(\epsilon_{\text{д}} \right)^{-1} \right]$$

Для размера x :

$$\kappa = \frac{Nu \cdot \lambda}{x},$$

λ – теплопроводность воздуха ($\approx 0,03$ Вт/м·К);

Nu – число Нуссельта;

$$\kappa = 0,062 (x/\lambda) Ra^{1/3};$$

Ra – число Рэлея.

$$Ra = g \cdot \beta \cdot x^3 \cdot (\epsilon_{\text{в}} - T_{\text{д}}) \cdot \lambda^{-1} \cdot \nu^{-1}.$$

Здесь для определения ρ , λ и т.д. можно пользоваться данными для сухого воздуха.

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

2. Решение задач

Задача 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.

В таблице 21 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 21

Величина	Вариант			
	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

Задача 17. Трубопровод диаметром D используется для подачи тепла на расстояние L , м. Он изолирован с помощью теплоизоляционного материала с коэффициентом теплопроводности λ , толщина изоляции X .

Определить потери тепла вдоль трассы, если температура окружающего воздуха – T_{cp} , а пар имеет температуру $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В таблице 22 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 22

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
D , см	20	30	40	5
L , м	100	150	200	250
λ , Вт/м · К	0,07	0,04	0,05	0,06
X , см	4	5	3	4
T_{cp} , $^{\circ}\text{C}$	-10	-5	0	10

Задача 3. Разлитое в бутылки молоко пастеризуется в потоке горячей воды ($70\text{ }^{\circ}\text{C}$) в течение 10 мин. Для качественной пастеризации необходимо на каждую бутылку подавать по 50 л горячей воды. Вода циркулирует так, что минимальная температура составляет $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Используется солнечная энергия для подогрева воды. Определить минимальную требуемую площадь приемника в отсутствие потерь, если производительность завода 65000 бутылок за 8-часовую рабочую смену. Облученность приемника G , МДж/м² за 8 часов, $\tau = 1$; $\alpha = 1$; $r = \infty$.

В таблице 23 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 23

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
Облученность G , МДж/м ²	20	19	18	17

Задача 4. На острове нет источника пресной воды для населения, бытовых нужд и сельского хозяйства. Пресную воду можно получить, опресняя морскую соленую воду. Опреснить воду можно, используя электроэнергию, но на острове нет достаточно мощной электростанции. Электроэнергией население и бытовые нужды обеспечивает ветропарк и резервная дизельная электростанция небольшой мощности. Предлагается использовать солнечную энергию, так как на острове достаточное число солнечных дней. Рассчитать площадь солнечного опреснителя S , м² при годовой потребности в пресной воде V , тыс. тонн в год. Интенсивность солнечного излучения M , тыс. МДж/м² · год, число солнечных дней в году

– 260, удельная теплота парообразования воды – 2,4 МДж/кг, КПД – $\eta = 0,85$.

В таблице 24 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 24

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
V , тыс. т/сутки	500	400	350	300
M , тыс. МДж/м ² · год	5,0	4,9	4,8	4,7

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

Другие виды возобновляющейся энергии воды

1. Основные формулы и определения

Геотермальная энергия

Сухие скальные породы

Структура системы из сухих горных пород представлена на рис. 2

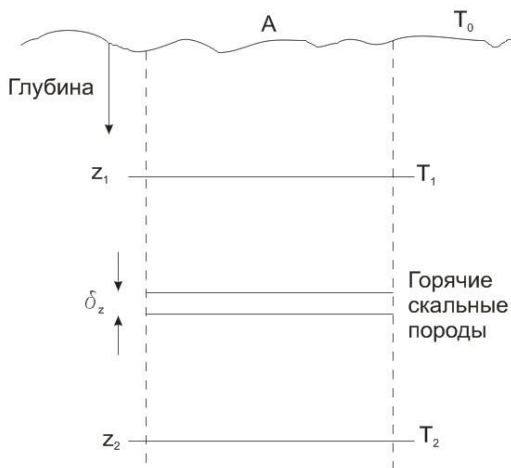


Рис. 2. Структура системы из сухих горных пород

Полное полезное теплосодержание скального грунта до глубины равно:

$$E_o = \frac{\rho_r \cdot A \cdot c_r \cdot \mathcal{J} \cdot (z_2 - z_1)}{2},$$

где: ρ – плотность;
 c – удельная теплоемкость;

$\mathcal{J} = dT/dz$ – температурный градиент;

A – площадь;

T_0 – поверхностная температура;

T_1 – минимальная полезная температура;

T_2 – температура на максимальной глубине.

Пусть средняя температура горячих скальных пород равна θ , тогда,

$$\theta = \frac{\rho_r \cdot A \cdot c_r \cdot (T_2 - T_1)}{2} = \frac{\mathcal{J} \cdot A \cdot (Z_2 - Z_1)}{2}.$$

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

где C_r – теплоемкость горных пород, залегающих в слое между Z_1 и Z_2 :

$$C_r = \rho_r \cdot A \cdot c_r \cdot (Z_2 - Z_1)$$

Допустим, что тепло извлекается из пород равномерно, пропорционально температуре, с помощью потока воды, имеющего объемный расход Q . плотность ρ_B , удельную теплоемкость c_B . В этом процессе вода нагревается до температуры θ .

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

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

Постоянная времени τ определяется:

$$\tau = \frac{\rho_B \cdot A \cdot c_B \cdot (Z_2 - Z_1)}{Q \cdot \rho_B \cdot c_B}.$$

Естественные водоносные пласты

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 ρ_r , (рис. 3).

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.

$$T_2 = T_0 + \left(\frac{dT}{dz} \right) \cdot z = T_0 + \mathcal{J} \cdot z,$$

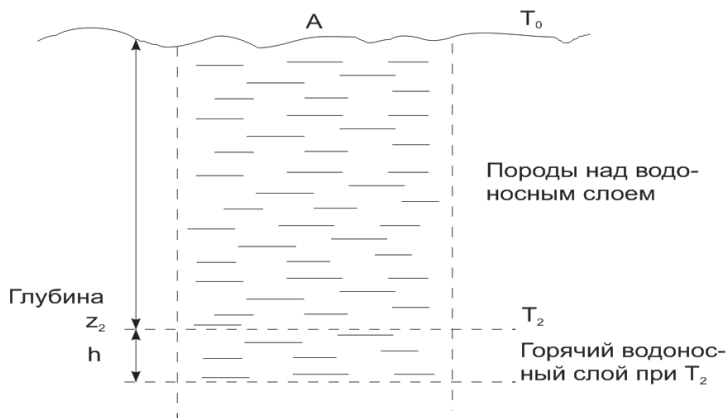


Рис. 3. Профиль горячего водоносного слоя

$$\frac{E_0}{A} = C_r \cdot (T_2 - T_1)$$

где $C_r = [\rho_B \cdot \rho_B \cdot c_B + (\rho_r \cdot c_r) \cdot h]$,

Определим отбор тепла при объемной скорости Q и величине θ , превышающей T_1 .

$$Q \cdot \rho_B \cdot c_B \cdot \theta = -\frac{C_r \cdot d\theta}{dt},$$

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

$$\tau_a = -\frac{C_2}{Q \cdot \rho_B \cdot c_B} = \frac{[\rho_B \cdot \rho_B \cdot c_B + (\rho_r \cdot c_r) \cdot h]}{Q \cdot \rho_B \cdot c_B}.$$

Энергия прилива

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

$$\mathcal{E}_{\text{пот}} = 1,97 \cdot 10^6 \cdot R_{\text{cp}}^2 \cdot F, \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где R_{cp} – средняя величина прилива, м;
 F – площадь бассейна, км².

2. Решение задач

Задача 1. Рассчитать полезное теплосодержание E_0 на 1 км² сухой скальной породы (гранит) до глубины z , км. Температурный градиент равен G , °C/км. Минимальная допустимая температура, превышающая поверхностную, равна 140 К, плотность гранита $\rho_r = 2700 \text{ кг/м}^3$, теплоем-

кость гранита $c_r = 820$ Дж/(кг·К). Чему равна постоянная времени τ извлечения тепла при использовании в качестве теплоносителя воды, если объемная скорость – v , $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$? Какова будет тепловая мощность, извлекаемая первоначально и через 10 лет?

В таблице 25 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 25

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
Z , км	7	6	5	6
G , °C/км	40	50	60	50
V , $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$	1,0	1,1	1,2	1,3

Задача 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 $\rho_{\text{гр}} = 2700$ кг/м³; пористость – a , %; удельная теплоемкость $c_{\text{гр}} = 840$ Дж/(кг·К). Температурный градиент – dT/dz °C/км. Среднюю температуру поверхности t_0 принять равной 10 °C. Удельная теплоемкость воды $c_v = 4200$ Дж/(кг·К); плотность воды $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³. Расчет произвести по отношению к плоскости поверхности F , км². Минимально допустимую температуру пласта принять равной $t_1 = 40$ °C. Площадь $F = 1$ км².

Определить постоянную времени извлечения тепловой энергии τ_0 (лет) при закачивании воды в пласт и расходе ее $V = \text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$. Какова будет тепловая мощность, извлекаемая первоначально $(dE/d\tau) \cdot \tau = 0$ и через 10 лет?

В таблице 26 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 26

Величина	Вариант			
	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 , $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$	1	1,2	1,1	1,3

Задача 3. Каковы период, фазовая скорость и мощность волны на глубокой воде при длине волны λ , м и амплитуде a , м?

В таблице 27 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 27

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
λ , м	100	90	110	120
a , м	1,5	1,4	1,6	1,7

Задача 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.

В таблице 28 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания

Таблица 28

Величина	Вариант			
	1	2	3	4
n , раз	1,1	1,0	1,5	2,0
m , %	22	10	15	16,5

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

Энергетический анализ использования возобновляющейся энергии

Этапы проведения занятия

1. Основываясь на пройденном материале, дать оценку нетрадиционной энергетике в целом.
2. Вместе с преподавателем разобрать приложения.
3. Заполнить сравнительную таблицу нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, учитывая преимущество и недостатки.

Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии *Таблица 29*

п.н	Вид нетрадиционного источника энергии	Достоинство	Недостатки	Доля применения источника в РФ
1				

4. Сделать выводы по таблице 29.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Земсков В.И. Возобновляемые источники энергии в АПК: учеб. пособие /В.И. Земсков. – СПб.: Лань, 2014. – 368 с.
2. Куликова Л.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие / Л.В. Куликова, Ю.А. Меновщиков; РАСХН, Сиб. отд-ние. Новосибирск, 2006. – 430 с.
3. Беркова Е.А. Эффективность использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ) в автономных теплоэнергетических комплексах для получения электрической и тепловой энергии в условиях Калининградской области: отчет НИР – Инв. № 02201051665/ Е.А. Беркова. – М.: Изд-во МЭИ (ГУ), 2010.
4. Возобновляемые источники энергии: учеб. -метод. пособие по решению контрольных задач по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» / А.А. Горяев, С.В. Петухов, Н.Б. Баланцева, С.В. Бутаков. – Архангельск: Изд-во САФУ, 2015 – 100 с.
5. Юдаев И.В. Возобновляемые источники энергии: учебник/ И.В. Юдаев, Ю.В. Даус, В.В. Гамага. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 328 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Расчет ветроэнергетического кадастра*

Для расчета потребности в ветроустановках необходимо иметь исчерпывающую информацию о ветровой обстановке в районе как о природном процессе и преобразовании ветровой энергии в электрическую. Общеметеорологических характеристик для этого недостаточно. Получение таких характеристик является основной задачей ветроэнергетического кадастра.

Ветроэнергетический кадастр представляет собой совокупность аэрологических и энергетических характеристик ветра, позволяющих выявить его энергетическую ценность и определить возможные режимы работы.

Основными характеристиками ветроэнергетического кадастра являются:

- среднегодовая скорость ветра;
- годовой и суточный ход ветра;
- повторяемость скоростей, типы и параметры функций распределения скоростей;
- максимальная скорость ветра;
- распределение ветровых периодов и периодов энергетических затиший по длительности;
- удельная мощность и удельная энергия ветра;
- ветроэнергетические ресурсы района.

Средние скорости ветра

Основной характеристикой ветра, определяющей интенсивность и эффективность использования ветровой энергии, является его средняя скорость за определенный период времени (сутки, месяц, год). По результатам обработки 10-летних наблюдений по 168 метеостанциям северо-европейской части России, среднеквадратичное отклонение среднегодовой скорости повсеместно примерно одинаково и составляет 0,2–0,5 м/с.

* Текст взят из «Возобновляемые источники энергии: учеб. -метод. пособие по решению контрольных задач по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» / А.А. Горяев, С.В. Петухов, Н.Б. Баланцева, С.В. Бутаков. – Архангельск: Изд-во САФУ, 2015 – 100 с.

Среднегодовая скорость ветра определяется:

$$V_r = \frac{1}{12} \cdot \sum_{i=1}^{12} V_m,$$

где V_m – среднемесячная скорость ветра, м/с.

Для расчета длительности затиший и расчета рабочих периодов ветроустановки на высотах 20–100 м необходимо пользоваться табулированными способами расчета в % и днях в зависимости от текущих и среднегодовых скоростей ветра.

Максимальная скорость ветра при горизонтальном расположении оси ветроустановки ограничивается 25 м/с. При превышении этой величины скорости ветра ветроустановки выводятся из работы во избежание поломки. При вертикальном расположении оси ветроустановка может работать при скорости ветра до 60 м/с.

В расчетной работе максимальную скорость ветра принимают 20 м/с, так как при расчетной скорости 12–13 м/с выработка электроэнергии будет поддерживаться на этом уровне.

Вертикальный профиль ветрового потока определяется по формуле:

$$V_{h2} = V_{h1} \frac{h_2^m}{h_1^m},$$

где V_{h1} – скорость ветра, измеренная на высоте 10 м, м/с;

V_{h2} – скорость ветра на высоте h_2 м/с;

m – показатель степени, 0,2 в РФ, (в США – 0,18).

В таблице 1 и на рисунке 1.1 приведены коэффициенты возрастания скоростей ветра на разных высотах.

Коэффициенты возрастания скорости ветра на разных высотах

Таблица 1.

Высота, м	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Коэффициент возрастания	1,0	1,15	1,25	1,32	1,38	1,44	1,48	1,53	1,57	1,6

По этим данным можно определить среднемесячные и среднегодовые скорости ветра на разных высотах (см. рис. 1.1).

Повторяемость скорости ветра

Повторяемость скоростей ветра является одной из важнейших кадастровых характеристик. Она показывает, какую часть времени в течение

рассматриваемого периода дули ветры с той или иной скоростью. С помощью этой характеристики выявляется энергетическая ценность ветра и находятся основные энергетические показатели, определяющие эффективность и целесообразность использования энергии ветра.

При анализе возможностей использования энергии ветра (наряду с рассмотренными выше данными о средних скоростях ветра и закономерностях повторяемости скоростей) большое значение имеют данные возможной длительности периодов работы ВЭУ и периодов простоя (энергетических затиший).

Под рабочим периодом T_p понимается период времени, в течение которого скорость ветра больше минимальной рабочей скорости $V_{\text{мин.р}} \approx 3$ м/с, но меньше максимальной рабочей скорости $V_{\text{макс.р}}$, определяемой из условия обеспечения безопасности работы ветроэнергетической установки. Под периодом простоя $T_{\text{пр}}$ понимается время, в течение которого скорость ветра меньше $V_{\text{мин.р}}$ или больше $V_{\text{макс.р}}$.

$$\sum_{t=1}^{n_1} T_p + \sum_{t=1}^{n_2} T_{\text{пр}} + \sum_{t=1}^{n_3} T_{\text{пр}} = T,$$

где n_1 – общее число рабочих периодов за год;

n_2 и n_3 – число периодов простоя соответственно при скорости ветра меньше $V_{\text{мин.р}}$ и больше $V_{\text{макс.р}}$;

T – число часов в году – 8760.

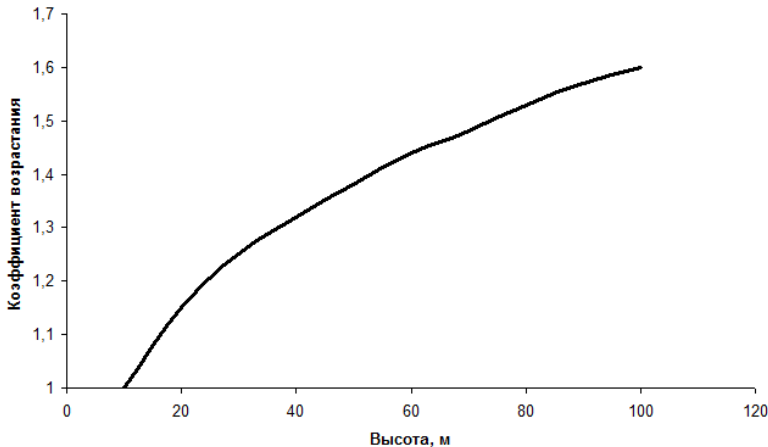


Рис. 1.1. - Коэффициент возрастания средней скорости ветра в зависимости от высоты над землей оси ветрового колеса

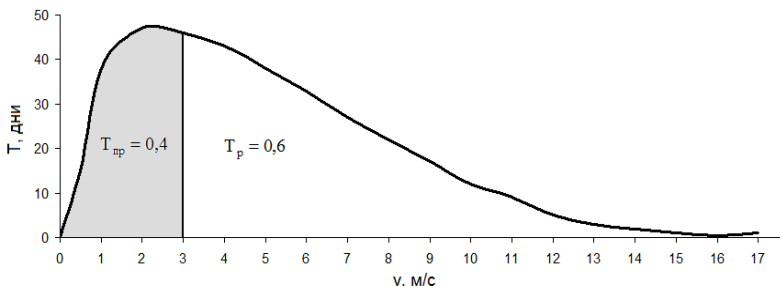


Рис. П.2.- Кривая повторяемости средней скорости ветра по Мезенской метеостанции № 45 на высоте 10 м за 10 лет (пример)

Графически $\sum_{i=1}^{n1} T_p$ (рис. 1.2) представляет собой площадь под кривой повторяемости ветра, ограниченную ординатами $V_{\text{мин}\cdot p}$ и $V_{\text{макс}\cdot p}$. Сумма отсеченной площади есть время простоя ветроэнергетической установки.

Удельная мощность и энергия ветрового потока

Удельная мощность ветрового потока на единицу площади ометаемой поверхности (1 м^2) определяется из формулы:

$$P_{\text{уд.п}} = \frac{\rho \cdot V^3}{2},$$

где V_0 – скорость воздушного потока, м/с;

ρ – плотность воздушного потока, $1,25 \text{ кг/м}^3$.

Среднегодовая удельная энергия ветрового потока $W_{\text{уд.п}}$ (энергия, протекающая за 1 год через 1 м^2 поперечного сечения ометаемой площади) зависит от повторяемости скоростей ветра, то есть какую долю годового времени t_i ветер дул со скоростью V_i :

$$W_{\text{уд.п}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot T \sum_{i=1}^k t_i \cdot V_i^3,$$

где k – число градаций ветра;

T – число часов в году, 8760 ч.

Зная среднегодовую скорость ветра, его вертикальный профиль и повторяемость скорости ветра, можно дать энергетическую характеристику ветрового потока в любом районе.

Среднегодовая удельная мощность ветрового потока:

$$P_{\text{ср}} = \frac{W_{\text{уд}}}{T}.$$

Мощность ветроустановки:

$$P_{\text{взу}} = \eta \cdot \xi \cdot P_{\text{удп}} \cdot A_0,$$

где η – коэффициент полезного действия, 0,85;

ξ – коэффициент ветроиспользования, 0,45;

A_0 – ометаемая площадь, $\pi \cdot d^2/4$, м².

На рис. П.3 в качестве примера показано, как формируется годовая сумма удельной энергии ветра (площадь под кривой $W_{\text{уд}}$) при среднегодовой скорости ветра 5,95 м/с. Из за кубической зависимости мощности от скорости ветра наибольший вклад дают не часто наблюдаемые и даже не средние скорости ветра, а скорости, превышающие последние в 1,7–1,9 раз.

В большинстве прикладных задач ветроэнергетики гораздо важнее знать не суммарное количество энергии, которое может выработать ветроустановка за год, а ту мощность, которую она может обеспечить постоянно.

Основными производителями ветроустановок за рубежом являются компании Vestas (Дания), Enercon, Simens (Германия), GE (США), в РФ изготавливают ветроустановки НПО «Ветроэн», МКБ «Радуга» и др. При подборе ветроустановок желательно ставить не одну мощную, а несколько ветроустановок меньшей мощности.

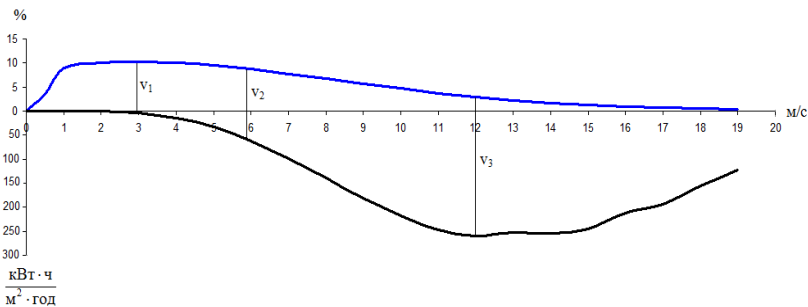


Рис. 1.3.- Повторяемость скоростей ветра и распределение годовой удельной энергии $W_{\text{уд}}$ на высоте 30 м (пример): V_1 – наиболее часто наблюдаемая скорость, V_2 – средняя скорость ветра, V_3 – скорость, обеспечивающая наибольший вклад в годовую выработку энергии

Ветроэнергетические ресурсы

При оценке энергетических ресурсов рассматривают валовой, технический и экономический ресурсы.

Полное использование энергии ветра на высоте h осуществляется ветроэнергетической системой, в которой ряды ветроэнергетических установок, ориентированных перпендикулярно направлению ветра, стоят друг от друга на расстоянии $(10 \dots 20) \cdot h$, так что полная ветровая энергия, захватываемая установками на площади территории S , м^2 , в год, представляет валовой потенциал территории $W_{\text{в}}$, $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{год}$, который при удельной энергии ветра $W_{\text{уд}}$, $\text{кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, равен:

$$W_{\text{в}} = W_{\text{уд}} \frac{S}{20},$$

где $S = 10^6$, м^2 .

Для оценки эффективности работы ветроэнергетической установки необходимо построить зависимость распределения удельной мощности ветра (рис. П.4). Площадь под кривой 1 представляет собой годовую удельную энергию ветра, приходящуюся на 1 м^2 поперечного сечения ометаемой ветроколесом площади. В соответствии с критерием Бетца и теорией Н.Е. Жуковского в полезную работу может быть преобразована только часть ветровой энергии, проходящая через сечение ветроколеса, которая оценивается коэффициентом $\varepsilon = 0,593$. На практике коэффициент ε у лучших образцов ветроэнергетических установок достигает значений $0,45-0,48$.

При скоростях ветра ниже минимальной рабочей скорости $V_{\text{мин} \cdot \text{р}}$ мощности ветроколеса не хватает на преодоление сил трения в узлах ветроэнергетической установки. В диапазоне скоростей от $V_{\text{мин} \cdot \text{р}}$ до расчетной скорости ветра $V_{\text{р}}$, при которой ветроэнергетическая установка развивает номинальную мощность $N_{\text{н}}$, использование энергии ветра осуществляется наиболее полно.

При дальнейшем усилении ветра вплоть до максимальной рабочей скорости $V_{\text{макс} \cdot \text{р}}$ мощность ветроэнергетической установки поддерживается на постоянном уровне благодаря работе регулирующих устройств. Доля полезно используемой ветровой энергии при этом снижается. При скоростях выше $V_{\text{макс} \cdot \text{р}}$ его энергия не используется. Мощность единичной ветроэнергетической установки в кВт определяется выражением:

$$N_0 = 4.81 \cdot 10^{-4} \cdot D^2 \cdot V_p^3 \cdot \varepsilon \cdot \eta_p \cdot \eta_r,$$

где D – диаметр ветроколеса, м;
 V_p – расчетная скорость ветра, м/с;
 η_p и η_r – КПД редуктора и генератора.

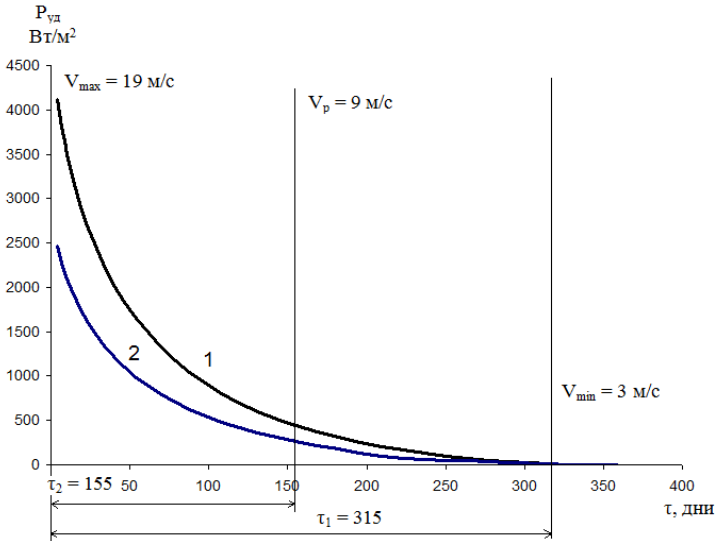


Рис. 1.4. - Теоретическое распределение удельной мощности ветра (1), удельной мощности на валу ветроколеса (2) и фактическое распределение удельной мощности ветроэнергетической установки (3, 4)

Для суммарной установленной мощности на 1 км² земной поверхности используется формула:

$$N_1 = N_0 \cdot \left(\frac{1000}{D} \right)^2,$$

где D – диаметр ветроколеса, м.

С учетом мощности единственной ветроэнергетической установки будем иметь:

$$N_1 = 4,81 \cdot V_p^3 \cdot \varepsilon \cdot \eta_p \cdot \eta_r.$$

Суммарная установленная мощность ветроэнергетической установки, размещенных на единице площади, не зависит от диаметра колеса, а определяется расчетной скоростью ветра V_p и техническим совершенством ветроэнергетической установки.

**Пример расчета установленной мощности
и режима работы ГЭС на малой реке ***

Допустим, требуется определить установленную мощность для ГЭС на реке Кабанка в створе у г. Пласта (Челябинская область), режим ее работы, а также оценить возможность утилизации гидроэнергии сбросов прудов и водохранилищ, имеющих в бассейне. Река Кабанка является притоком Увельки. Ниже створа г. Пласта имеется пруд с полным объемом 0,970 млн м³ и полезным – 0,921 млн м³, основное назначение которого – орошение сельскохозяйственных угодий.

Площадь водосбора Кабанки до г. Пласта $F = 346 \text{ км}^2$ (определялась по карте Челябинской области масштабом 1:500000).

1. Установленная мощность рассчитывается на год 50%-й обеспеченности (норма стока). Сток 50%-й обеспеченности определяется по координатам обобщенной (типовой) районной кривой распределения среднегодовых модулей стока. Для этого гидроэнергетического района эти координаты равны:

p, %	5	25	50	75	95
M, л/с·км ²	3,25	1,73	1,01	0,53	0,15

Отсюда многолетний расход Q_0 при норме стока $M_{50\%}=1,01 \text{ л/с·км}^2$:

$$Q_0 = \frac{M_{50\%} \cdot F}{1000} = \frac{1,01 \cdot 346}{1000} = 0,35 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Характерные (расчетные) расходы различной обеспеченности внутри года определяются по кривым распределения среднемесячного стока (в модульных коэффициентах).

P	1 мес	3 мес	6 мес	9 мес	min
$k_{p\%}$	7,50	0,70	0,40	0,20	0,05

Максимальный коэффициент использования водотока этого района $\varphi_{с \text{ max}} = 0,21$, которому соответствуют расчетная обеспеченность $p = 6$ мес и расчетный модульный коэффициент $k_{p\%} = 0,40$.

При отсутствии регулирования, при работе станции на естественном стоке и среднем напоре $H = 4,0$ м установленная мощность равна:

$$P_{уст} = 7 \cdot Q_0 \cdot k_{p\%} \cdot H = 7 \cdot 0,35 \cdot 0,4 \cdot 4 = 3,9 \text{ кВт}.$$

* Текст взят из «Куликова Л.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие / Л.В. Куликова, Ю.А. Меновщиков; РАСХН, Сиб. отд-ние. Новосибирск, 2006. – 430 с.»

При наличии регулирующего бьефа с объемом, достаточным для точного регулирования и продолжительности работы микроГЭС в сутки, например, $T = 10$ часов, найденная установленная мощность может быть увеличена, и тогда равенство приобретает вид:

$$P_{\text{уст}} = 7 \cdot 0,35 \cdot 0,4 \cdot 4 \cdot 2,4 = 9,4 \text{ кВт.}$$

Количество агрегатов, в сумме дающих установленную мощность, в первую очередь зависит от распределения стока внутри периода работы электростанции.

2. Если в створе ГЭС нет регулирующей емкости, обеспечивающей внутрисуточное регулирование сбросов, то количество агрегатов и режим мощностей такой ГЭС будут определяться в основном внутригодовым режимом естественного стока.

Внутригодовое распределение стока в третьем гидроэнергетическом районе по типовому распределению имеет вид:

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Сток в долях	0,06	0,054	0,37	7,61	1,14	0,64	0,67	0,42	0,31	0,39	0,25	0,11	1,0

Распределение стока для створа р. Кабанка г. Пласт можно уточнить по рекам-аналогам энергорайона. Близкими по условиям формирования стока в расчетном створе являются реки Урляда и Увелька – с. Краснокаменка. Сток в этих створах в декабре-феврале несколько ниже, чем по типовому распределению, а в маловодные годы в эти месяцы наблюдается перемерзание створа. Поэтому для реки Кабанки у г. Пласта принято окончательно следующее распределение стока:

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Сток в долях	0,01	0,008	0,37	7,61	1,14	0,64	0,67	0,42	0,31	0,39	0,25	0,05	1,0

Зная среднегодовые расходы реки любой обеспеченности, можно установить средние месячные расходы в створе р. Кабанка – г. Пласт и в абсолютных значениях для любого по водности года.

Так, для среднего по водности года 50%-й обеспеченности распределение стока в абсолютных единицах в рассматриваемом створе при $Q_0 = 0,35 \text{ м}^3/\text{с}$ следующее:

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сток, м ³ /с	0,005	0,003	0,13	2,67	0,40	0,22	0,23	0,15	0,11	0,14	0,09	0,02

Таким образом, в данном случае в зависимости от периода работы ГЭС может быть выбрано несколько вариантов по определению количества агрегатов и режима их работы.

Для расчетного створа сток декабря-февраля представляет исчезающе малую величину (в средний по водности год – 3–18 л/с), а в маловодные годы ($p > 50\%$) сток практически прекращается. Поэтому период работы ГЭС выбираем в пределах марта-ноября. Минимальный расход Q_{\min} за этот период составляет $0,090 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для приплотинных микроГЭС в СССР серийно выпускались радиально-осевые (РО – турбина Френсиса) и пропеллерные (ПР) турбины. Определяющей характеристикой при выборе типа турбины является напор. Для равнинных районов наиболее подходят быстроходные турбины ($n_s > 500$), требующие 2–20 м напора, что характерно для равнинных рек. При одном и том же напоре и при одной и той же мощности ПР турбина развивает в 2–2,5 раза большее число оборотов, чем турбина типа РО.

Значение m для турбины типа ПР принимает значение, близкое к единице, поэтому количество агрегатов в пределах установленной мощности в створе р. Кабанка:

$$n = \frac{0,35}{0,090} \cdot 1 \approx 2.$$

Первый вариант. В створе ГЭС возможна установка двух агрегатов: а) при суточном регулировании $P_{\text{уст}} = 9,4 \text{ кВт}$, время работы $T = 10 \text{ ч}$, то есть каждая турбина должна иметь мощность по $4,7 \text{ кВт}$ при напоре $H = 4 \text{ м}$. Для заданных условий можно выбрать две турбины типа ПР. Эти турбины имеют диапазон мощностей 3–5 кВт и напоров – 4–7,5 м. Пересчет и уточнение характеристик для оптимального КПД невозможны из-за отсутствия полных рабочих характеристик турбин.

В течение летне-осенней межени семь месяцев ($T = 2150 \text{ ч}$) работают обе турбины, вырабатывая $W = 20210 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, и два месяца – одна турбина ($T = 600 \text{ ч}$), вырабатывая $2820 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Сумма за год $W = 23030 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$; суточное регулирование в створе невозможно, $P_{\text{уст}} = 3,9 \text{ кВт}$ при среднем напоре $H = 4 \text{ м}$, работают две турбины $P = 2 \text{ кВт}$ каждая равномерно в течение суток ($T = 24 \text{ ч}$). Для этих условий выбраны две турбины типа ПР

«МНТО ИНСЭТ» с диапазоном мощностей 2–10 кВт и напоров – 2–10 м. Рабочие характеристики отсутствуют.

В течение периода эксплуатации ГЭС вырабатывает за семь месяцев $W = 20124$ кВт·ч и два месяца $W = 2880$ кВт·ч, в сумме $W = 23004$ кВт·ч.

Второй вариант. По техническим причинам в створе ГЭС установить две турбины невозможно.

В этом случае установленная мощность определяется по расходу обеспеченного в течение 9 месяцев или по минимальному за период работы ГЭС:

а) при суточном регулировании $P_{уст} = 6,05$ кВт, времени работы в течение суток $T = 10$ ч, среднем напоре $H = 4$ м и минимальном расходе $Q = 0,090$ м³/с выбрана турбина типа ПР «МНТО ИНСЭТ» с диапазоном мощностей 2–10 Вт и напоров – 2–10 м; при работе в сутки в течение 10 ч ГЭС вырабатывает за период работы $W = 16637$ кВт·ч;

б) суточное регулирование в створе невозможно. В этих условиях $P_{уст} = 2,5$ кВт, ГЭС работает равномерно в течение суток при среднем напоре $H = 4$ м. Для заданных условий выбрана турбина типа ПР той же фирмы. Количество вырабатываемой энергии за период работы станции составит 16500 кВт·ч.

Во всех вариантах возможно дополнительное использование повышенного стока в весенний паводок и за счет этого увеличение установленной мощности. Увеличение $P_{уст}$ должно быть экономически обосновано, так как повышенный сток рек равнинного Зауралья весной наблюдается очень короткий период (в пределах 2–3 недель).

3. Пруд, расположенный ниже створа г. Пласт, относится к малым водохранилищам, полезный объем предназначен для разбора воды из верхнего бьефа на орошение. Поэтому попуски в нижний бьеф происходят в пределах санитарного ппуска. Согласно проведенным исследованиям, установленная мощность энергетической установки для малых водохранилищ составляет 0,60 кВт. Целесообразно установку такой мощности использовать в период открытого русла.

Содержание

Введение	3
Практическое занятие № 1. Использование солнечной энергии	5
Практическое занятие № 2. Ветроэнергетика	13
Практическое занятие № 3. Гидроэнергетика	15
Практическое занятие № 4. Биотопливо	18
Практическое занятие № 5. Вторичная энергия	20
Практическое занятие № 6. Другие виды возобновляющейся энергии воды.	26
Практическое занятие № 7. Энергетический анализ использования возобновляющейся энергии	30
Библиографический список	31
Приложения	32

Составители:

Никонов Сергей Александрович
Горяев Аркадий Алексеевич
Петухов Сергей Васильевич
Баланцева Наталья Борисовна
Бутаков Сергей Владимирович

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Методические указания к практическим занятиям

Редактор *М.Г. Девищенко*
Компьютерная верстка *В.Н. Зенина*

Подано в печать «__» _____ 2020 г. Формат 60x84 ¹/₁₆
Объем ___ уч.-изд. л., ___ усл. печ. л.
Тираж 50 экз. Изд №__ Заказ ___

Отпечатано в Издательском центре НГАУ «Золотой колос»
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб. 106.
Тел. (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru