

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ**

**НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В
АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

Методические указания для проведения практических занятий

НОВОСИБИРСК 2018

УДК
ББК
М

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

Составители: *С.А. Никонов Зав. лаб., ассистент;*
А.А. Горяев, к.т.н., доцент
С.В. Петухов, к.т.н., доцент;
Н.Б. Баланцева, к.т.н., доцент;
С.В. Бутаков, к.т.н., доцент.

Рецензент: *к.т.н. доцент Е.И. Гаршина*

Нетрадиционные источники энергии в агропромышленном комплексе: метод. указания для проведения практических занятий / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инж. ин-т; сост.: С.А. Никонов, А.А. Горяев, С.В. Петухов, и др. – Новосибирск, 2018. – 45 с.

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

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия.

Утверждены учебно-методическим советом Инженерного института НГАУ (протокол №5 от 12 декабря 2017 г.).

© Новосибирский ГАУ, 2018
© Инженерный институт, 2018

Содержание

Введение	4
Практическое занятие №1	5
Решение задач на тему: Использование солнечной энергии	
Практическое занятие №2	13
Решение задач на тему: Ветроэнергетика	
Практическое занятие №3	15
Решение задач на тему: Гидроэнергетика	
Практическое занятие №4	18
Решение задач на тему: Биотопливо	
Практическое занятие №5	20
Решение задач на тему: Вторичная энергия	
Практическое занятие №6	26
Решение задач на тему: Другие виды возобновляющейся энергии воды.	
Практическое занятие №7	30
Энергетический анализ использования возобновляющейся энергии	
Библиографический список	31
Приложение 1	32
Приложение 2	39

Введение

Неотъемлемой частью энергетических установок хотя и незаметно являются Нетрадиционные источники энергии в АПК, про них все вспоминают когда по каким либо причинам пропадает «напряжение в розетке»

У такого вида источников электрической энергии полно как достоинств так и недостатков, и казалось бы что все виды нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (в дальнейшем НИЭ) давно изучены, ученые совершенствуют старые технологии и на их основе придумывают новые способы получения энергии.

В данных методических указаниях представлены практические занятия, а также примеры решения задач, в рамках дисциплины.

В современном технологическом обществе необходимость в выпуске квалифицированных кадров, где уровень качества подготовки специалиста является системно-образующим 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 улавливания, накопления и использования в сельском хозяйстве,
- ☐ – конструкции принципы работы и область применения солнечных нагревателей, ветроустановок и теплообменников;
- ☐ – особенности конструкции при учете экологических и экономических причин

уметь: – производить элементарные расчеты гелио- ветроустановок, теплообменников и других устройств, использующих возобновляющуюся и вторичную энергию;

владеть: – методиками расчета нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

Практическое занятие №1

Решение задач на тему: Использование солнечной энергии

Этапы проведения лабораторно-практической работы:

1. Изучить пройденный на лекции материал.
2. Приступить к решению задач, используя основные формулы.

1. Основные формулы и определения

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

$$Q_c = \tau_{np} \cdot \alpha_{ng} \cdot A_n \cdot G, \text{ Вт}$$

где G – облученность приемника, Вт/м²;

A_n – площадь освещенной поверхности, м²;

τ_{np} – коэффициент пропускания прозрачного покрытия, защищающего приемную поверхность от ветра, при одинарном остеклении принимается 0,9, при двойном – 0,8;

α_{ng} – 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 $(T_{np} - T_{cp})/R_t$, где R_t – термическое сопротивление. Теплоотдача приемника в окружающую среду:

$$Q_t = \frac{A_n \cdot (T_{np} - T_{cp})}{R_t}, \text{ Вт}$$

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

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

R_t – термическое сопротивление, К/Вт.

Суммарный поток тепла Q_Σ , поступающего к приёмной площадке, определяется балансом (уравнение солнечного коллектора):

$$Q_\Sigma = \tau_{np} \cdot \alpha_n \cdot A_n \cdot G - \frac{(T_{np} - T_{cp})}{R_t} = \eta_u \cdot A_n \cdot G,$$

где η_u – коэффициент захвата излучения, 0,85.

Коэффициент k определяет долю суммарного потока Q_{Σ} , 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:

$$Q_{ж} = k \cdot Q_{\Sigma},$$

Поток тепла при нагревании массы жидкости m :

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

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

c – теплоёмкость жидкости, Дж/(кг К).

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

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

где T_1 – температура входящей жидкости в приемник, °C;

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 :

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

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

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

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_n при разности температур её поверхности, равно:

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

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:

$$R_n = \frac{\Delta x}{\lambda \cdot A_n},$$

и удельное термическое сопротивление:

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

У неподвижного воздуха $\lambda = 0,03$ Вт/(м·К).

Время, необходимое для повышения температуры:

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

$$C_{жс} = m \cdot c,$$

где $C_{ж}$ – теплоёмкость жидкости;

c – удельная теплоёмкость;

m – масса жидкости.

Тогда уравнение теплового баланса может выглядеть как:

$$\frac{m \cdot c \cdot dT_{жс}}{dt} = \tau_{np} \cdot \alpha_n \cdot A \cdot G - \frac{T_{жс} - T_{cp}}{R_n},$$

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

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

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

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

Полное термическое сопротивление промежутка приёмная поверхность нагревателя – стеклянная крышка:

$$R_n = \left(\frac{1}{R_{к-с}} + \frac{1}{R_{из-с}} \right)^{-1}, K / Bm$$

Подогреватели воздуха

Энергия, передаваемая воздуху от поглощающей поверхности в единицу времени:

$$P_u = q \cdot c \cdot Q_p \cdot (T_2 - T_1),$$

где ρ - плотность воздуха, 1,2 кг/м³;

c - теплоёмкость воздуха, 1 кДж / (кг·К);

T_1 и T_2 - температура входящего и выходящего воздуха, С°; Q_p - объёмный 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 объём 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 $p = 0,1$ МПа и $T = 100^\circ\text{C}$, $r = 2257$ кДж/кг.

Солнечные отопительные системы

Тепловой баланс внутри здания описывается уравнением:

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

где T_r - комфортная температура в помещении, °С;

A_n - площадь приёмника, 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, $r = 0,07 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$.

Температура воздуха в доме с течением времени определяется по формуле:

$$T_r - T_{cp} = (T_r - T_{cp}) \cdot t = 0 \cdot \exp \left[\frac{-t}{RC} \right],$$

где $R = r \cdot A_n^{-1}$;
 $C = m \cdot c$;
 m – масса стенки, кг;
 c – удельная теплоёмкость (для бетона $c = 840 \text{ Дж/(кг К)}$).

КПД солнечной батареи

$$\eta = \frac{P_u}{A_n \cdot G},$$

ЭДС солнечной батареи

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

где I – величина тока, А.
 P_u – мощность солнечной батареи, Вт.

Производительность солнечного дистиллятора П определяется:

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

где G – поток излучения, $\text{МДж/м}^2 \text{ день}$;
 r – удельная теплота парообразования, $2,4 \text{ МДж/кг}$.

2. Решение задач

Задача 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 Н·L (высота, длина) и массивной зачернённой стенкой с северной стороны. Толщина поглощающей стенки, изготовленной из бетона (в), его плотность $\rho = 2,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, коэффициент пропускания стекла $\tau_{п} = 0,9$, коэффициент поглощения стенки $\alpha_{п} = 0,8$.

Определить какой требуется поток солнечного излучения, чтобы на-

греть 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 $c = 840\text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$. Удельное термическое сопротивление потерям тепла из комнаты наружу через стекло $r = 0,07\text{ м}^2\cdot\text{K/Вт}$.

В таблице 1 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 1.

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
H, м	3	4	5	3
L, м	5	3	6	4
в, 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, $\eta\%$. 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	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

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

В таблице 3 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 3.

Величина	Варианты			
	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 , м^2 , плотность тока i , А/см^2 , плотность излучения G , 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	Варианты			
	1	2	3	4
S , м^2	0,25	0,3	0,4	0,5

Продолжение таблицы 4

Величина	1	2	3	4
i , А/см^2	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
G , Вт/м^2	300	400	500	400
η	0,3	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 20 % больше, чем энергия отдаваемая потребителю при разряде.

В таблице 5 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 5.

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

Задача 6. Приёмник расположен на теплоизоляторе с коэффициентом теплопроводности λ , $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$, удельное термическое сопротивление поверхности приёмника $r = 0,13$ $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. 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	Варианты			
	1	2	3	4
λ , Вт/м·К	0,034	0,1	0,05	0,013

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

В таблице 7 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 7.

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

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

Задача 9. На солнечной электростанции башенного типа установлено n гелиостатов, каждый из которых имеет поверхность F_r . Гелиостаты отражают солнечные лучи на приёмник, на поверхности которого зарегистрирована максимальная энергетическая освещённость $H_{пр}$. Коэффициент отражения гелиостата $K_r = 0,8$, коэффициент поглощения $\alpha_{пог} = 0,95$. Максимальная облучённость зеркала гелиостата G_r . Определить площадь поверхности приемника $F_{пр}$ и тепловые потери в нем, вызванные излучением и

конвекцией, если рабочая температура теплоносителя составляет $t^{\circ}\text{C}$. Степень черноты приёмника $\epsilon_{\text{пр}} = 0,95$. Конвективные потери вдвое меньше потерь от излучения. Коэффициент излучения абсолютно чёрного тела $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{K}^4)$.

В таблице 9 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 9.

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
n	263	300	280	270

Продолжение таблицы 9

Величина	1	2	3	4
$F_{\Gamma}, \text{ м}^2$	58	50	60	55
$G, \text{ Вт}/\text{м}^2$	600	650	700	700
$t, ^{\circ}\text{C}$	660	700	680	670
$H_{\text{пр}}, \text{ МВт}/\text{ м}^2$	2,5	2	3	3,5

Задача 10. Содержание влаги в собранном рисе $W_{\text{н}}, \%$. При температуре воздуха $T_2 = 30^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности $\phi = 80\%$, равновесная влажность. $W_{\text{р}} = 16\%$, 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 $W_{\text{к}} = 16\%$. Подсчитать, какое количество воздуха при температуре сушки $t, ^{\circ}\text{C}$, необходимо, чтобы просушить $M, \text{ кг}$. риса.

В таблице 10 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 10.

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

Практическое занятие №2

Решение задач на тему: Ветроэнергетика

Этапы проведения лабораторно-практической работы:

1. Изучить пройденный на лекции материал.

2. Приступить к решению задач, используя основные формулы.

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, $\pi \cdot R^2$, 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:

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

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.

Примечание: Пример расчета ветроэнергетического кадаста представлен в Приложении 2.

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

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

В таблице 12 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 12.

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

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

В таблице 13 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 13.

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

Задача 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.

В таблице 14 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 14.

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

Практическое занятие №3

Решение задач на тему: Гидроэнергетика

Этапы проведения лабораторно-практической работы:

1. Изучить пройденный на лекции материал.
2. Приступить к решению задач, используя основные формулы.

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):

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

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

$$\xi = \frac{P^{\frac{1}{2}} \cdot \omega}{\rho^{\frac{1}{2}} \cdot (g \cdot H)^{\frac{5}{4}}} = \frac{R_l}{R \cdot 0.68 \cdot (n_i \cdot \eta)^{\frac{1}{2}}},$$

где n_i – число сопел; ρ – плотность воды, кг/м³; g – скорость свободного падения, $g = 9,8 \text{ с}^2/\text{м}$.

Угловая скорость ω , рад/с

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

где P – мощность турбины, Вт.

Диаметр колеса D турбины:

$$D = V / \omega,$$

где V – скорость напора, м/с.

Скорость напора вычисляем из выражения:

$$V = (2 \cdot g \cdot H)^{0.5},$$

Гидротурбина

Мощность гидротурбины выражают через напор и расход:

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

где P_T – мощность на валу гидротурбины, кВт; Q – расход воды, м³/с; H – напор нетто, м; η_T – КПД турбины при соответствующих H , Q и частоте вращения.

МикроГЭС

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

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

или при наличии бьефа с суточным регулированием:

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

где $P_{уст}$ – установленная мощность, кВт; Q_0 – норма стока, м³/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 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.[2]

Примечание: Пример расчета установленной мощности и режима работы ГЭС на малой реке представлен в Приложении 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 $\eta = 0,9$. Определить диаметр D колеса турбины и угловую скорость ω .

В таблице 15 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 15.

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

Задача 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 .

В таблице 16 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 16.

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

Задача 3. Микро ГЭС установлена на реке, Определить для этого гидроэнергетического района координаты равны M , л/с·км², и установленную мощность $P_{уст}$, кВт, если известно, что многолетний расход Q_o , а площадь водосбора F , км². расчетный модульный коэффициент $k_{p\%} = 0,45$.

В таблице 17 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 17.

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

Задача 4. Река создает давление (напор) H , м, для миниГЭС максимальной мощностью P , кВт, и расход воды при этом Q м³/с, Определить КПД установки η_t .

В таблице 18 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 18.

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

Практическое занятие №4

Решение задач на тему: Биотопливо

Этапы проведения лабораторно-практической работы:

1. Изучить пройденный на лекции материал.
2. Приступить к решению задач, используя основные формулы.

1. Основные формулы и определения

Возможный энергетический выход установки на биогаз определяется:

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

где η – КПД горелочного устройства = 0,6;

$H_{\text{б}}$ – удельная объёмная теплота сгорания биогаза = 20 МДж/м³ при парциальном давлении 101000 Па;

$V_{\text{б}}$ – объём получаемого биогаза, м³/сутки.

Объём биогаза определяется из выражения:

$$V_{\text{б}} = c \cdot m_0,$$

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).

Объём жидкой массы, заполняющей биогазогенератор:

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

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

Объём 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 5.1 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 – 28 МДж/м³;

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

2. Решение задач

Задача 1. Определить объём биогаза, получаемого с помощью биогазогенератора, утилизирующего навоз n коров, и обеспечиваемую им мощ-

ность. Подача сухого сбраживаемого материала от одного животного идёт со скоростью V_m , кг/сутки. Выход биогаза составляет C м³/кг. Эффективность горелочного устройства 0,68. Содержание метана в получаемом биогазе f_m . Время пребывания очередной порции в биогенераторе t_r .

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_m , кг/сут.	3	3	6	8
C , м ³ /кг	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

Задача 2. Определить объём получаемого 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 . $H_g = 20$ 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	2,5	2

Практическое занятие №5

Решение задач на тему: Вторичная энергия

Этапы проведения лабораторно-практической работы:

1. Изучить пройденный на лекции материал.
2. Приступить к решению задач, используя основные формулы.

1. Основные формулы и определения

Аккумуляирование тепла

Требуемое количество тепла Q , запасённого в аккумуляторе:

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

где Π – расход тепла в сутки, кВт;
 n – количество суток;
 τ – продолжительность расхода тепла в сутки, час;
 Z – переводной коэффициент 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 – теплоёмкость воды, 4200 Дж/кг К;
 ΔT – разность температур начальной и конечной аккумулятора, К.
 Глубина h ёмкости аккумулятора, м:

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

где V – объём, м³;
 A – площадь, м².

Термическое сопротивление R между аккумулятором и окружающей средой:

$$R = \frac{\tau \cdot \text{сек}}{1,3 \cdot V_m^3 \cdot \rho \cdot c}, \frac{\text{К}}{\text{Втм}},$$

Удельное термическое сопротивление r (м² К/Вт),:

$$r = R \cdot A,$$

Толщина покрытия d на верхней крышке ёмкости, м:

$$d = r \cdot \lambda,$$

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

Плотность энергии q , запасённой 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:

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

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 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:

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

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

Удельный радиационный поток определится:

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

где $T_{\text{д}}$ – температура крышки;

$\sigma_{\text{в}}$ – постоянная Стефана – Больцмана.

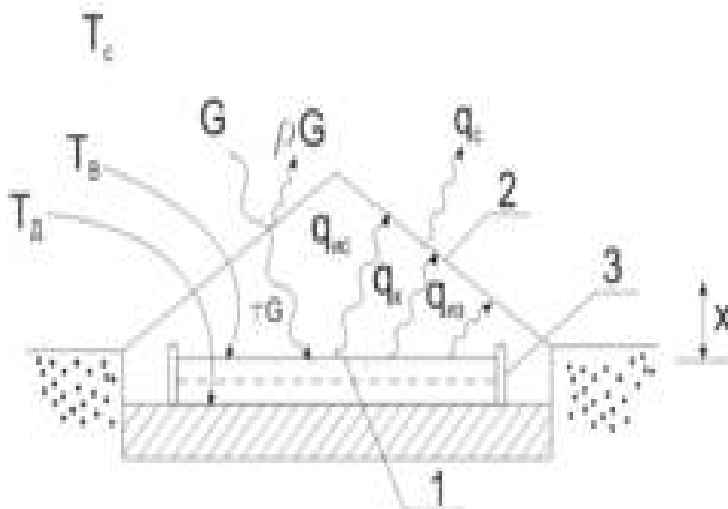


Рисунок 1 – Потоки тепла в солнечном дистилляторе.

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:

$$q_{\text{к}} = \kappa \cdot (T_{\text{в}} - T_{\text{д}}),$$

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 охлаждённого 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 рисунке 1.

$$q_T = \kappa \cdot r \cdot \rho^{-1} \cdot c^{-1} \cdot [\chi(T_e) - \chi(T_o)],$$

Для размера x :

$$\kappa = \frac{N \cdot u \cdot \lambda}{x},$$

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

Nu – число Нуссельта

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

Ra – число Рэлея.

$$Ra = g \cdot \beta \cdot x^3 \cdot (T_e - T_o) \cdot \lambda^{-1} \cdot \nu^{-1}.$$

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	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

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 $T_{\text{ср}}$, а пар имеет температуру 100°C .

В таблице 22 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 22.

Величина	Варианты			
	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
$T_{\text{ср}}$, $^\circ\text{C}$	-10	-5	0	10

Задача 3. Разлитое в бутылки молоко пастеризуется в потоке горячей воды (70°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°C . Используется солнечная энергия для подогрева воды. Определить минимальную требуемую площадь приёмника в отсутствие потерь, если производительность завода 65000 бутылок за 8 часовую рабочую смену. Облучённость приёмника 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	Варианты			
	1	2	3	4
Облучённость $G, \text{МДж/м}^2$	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 солёную 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 $S, \text{м}^2$ при годовой потребности в пресной воде V , тыс. тонн в год. Интенсивность солнечного излучения M , тыс. $\text{МДж/м}^2\text{год}$, число солнечных дней в году – 260, удельная теплота парообразования воды – $2,4 \text{ МДж/кг}$, КПД – $\eta = 0,85$.

В таблице 24 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 24.

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$V, \text{тыс. т/сутки}$	500	400	350	300
$M, \text{тыс. МДж/м}^2\text{год}$	5,0	4,9	4,8	4,7

Практическое занятие №6

Решение задач на тему: Другие виды возобновляющейся энергии воды.

Этапы проведения лабораторно-практической работы:

1. Изучить пройденный на лекции материал.
2. Приступить к решению задач, используя основные формулы.

1. Основные формулы и определения

Геотермальная энергия

Сухие скальные породы.

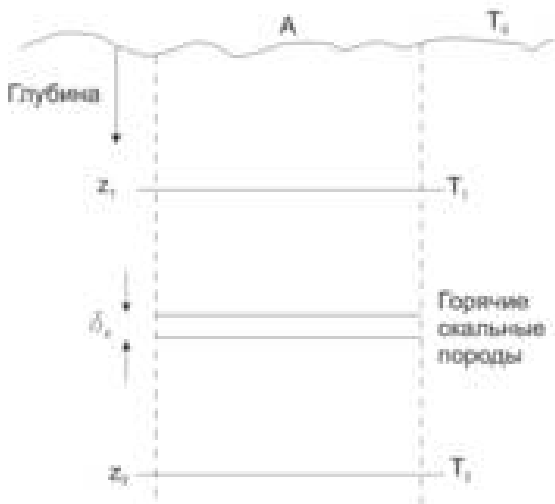


Рисунок 2 – Структура системы из сухих горных пород

Полное полезное теплосодержание скального грунта до глубины равно:

$$E_o = \frac{\rho_s \cdot A \cdot c_s \cdot \mathcal{J} \cdot (Z_2 - Z_1)^2}{2},$$

где: ρ – плотность;

c – удельная теплоёмкость;

$\mathcal{J} = dT/dz$ – 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,

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

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

где C_r – теплоёмкость горных пород, залегающих в слое между z_1 и z_2 :

$$C_s = \rho_s \cdot A \cdot c_s \cdot (Z_2 - Z_1).$$

Допустим, что тепло извлекается из пород равномерно, пропорционально температуре, с помощью потока воды, имеющего объёмный расход Q .

плотность ρ_v , удельную теплоёмкость c_v . 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 определится:

$$\tau = \frac{\rho_v \cdot A \cdot c_v (Z_2 - Z_1)}{Q \cdot \rho_v \cdot c_v},$$

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 .

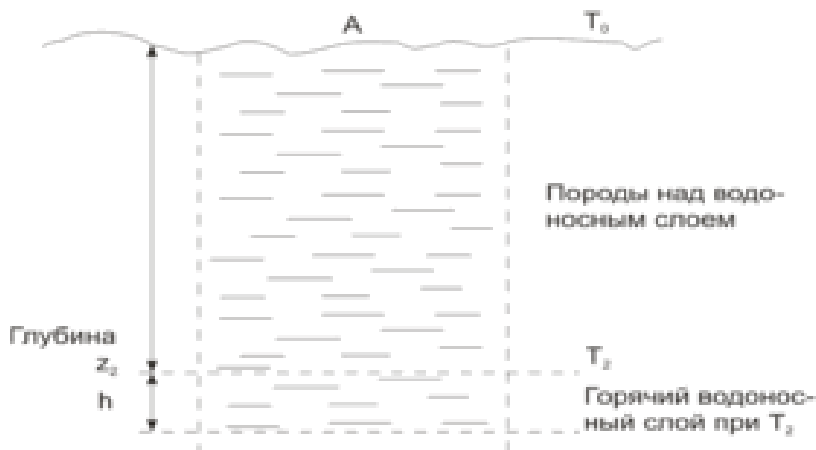


Рисунок 3 - Профиль горячего водоносного слоя

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.

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

$$\frac{E_o}{A} = C_z \cdot (T_2 - T_1),$$

где $C_z = [\rho_z \cdot \rho_\theta \cdot c_\theta + (1 - \rho) \cdot \rho_z \cdot c_z] \cdot h,$

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

$$Q \cdot \rho_\theta \cdot c_\theta \cdot \theta = - \frac{C_z \cdot d\theta}{dt},$$

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

$$\tau_a = - \frac{C_z}{Q \cdot \rho_\theta \cdot c_\theta} = \frac{[p \cdot \rho_\theta \cdot c_\theta + (1 - p) \cdot \rho_z \cdot c_z] \cdot h}{Q \cdot \rho_\theta \cdot c_\theta}.$$

Энергия прилива

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

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

где R_{cp} – средняя величина прилива, м;

F – площадь бассейна, км².

2. Решение задач

Задача 1. Рассчитайте полезное теплосодержание E_o на 1 км² сухой скальной породы (гранит) до глубины z , км. Температурный градиент равен G °С/км. Минимальная допустимая температура, превышающая поверхностную, 140К, плотность гранита, $\rho_r = 2700 \text{ кг/м}^3$, теплоёмкость гранита $c_r = 820 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$. Чему равна постоянная времени, τ , извлечения тепла при использовании в качестве теплоносителя воды, если объёмная скорость v , м³/(с·км²)? 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	Варианты			
	1	2	3	4
Z , км	7	6	5	6
G , °С/км	40	50	60	50

$V, \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$	1	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 $\rho_r = 2700 \text{ кг/м}^3$; пористость a %; удельная теплоёмкость $c_r = 840 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$. Температурный градиент $(dT/dz) \text{ } ^\circ\text{C/км}$. Среднюю температуру поверхности t_0 принять равной 10°C . Удельная теплоёмкость воды $c_v = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$; плотность воды $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Расчёт произвести по отношению к плоскости поверхности $F \text{ км}^2$. Минимально допустимую температуру пласта принять равной $t_1 = 40^\circ\text{C}$. Площадь $F = 1 \text{ км}^2$.

Определить постоянную времени извлечения тепловой энергии τ_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 $(dE/dt)\tau = 0$ и через 10 лет?

В таблице 26 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Варианты задания Таблица 26.

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$h, \text{ км}$	0,8	0,9	1,0	1,1
$z, \text{ км}$	3,5	3,0	4,0	2,0
$a, \%$	5	4	5	6
$dT/dz, \text{ } ^\circ\text{C/км}$	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	Варианты			
	1	2	3	4
$\lambda, \text{ м}$	100	90	110	120
$a, \text{ м}$	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 сокра-

тится 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	Варианты			
	1	2	3	4
n, раз	1,1	1	1,5	2
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 Приложение 1. и Приложение 2.

Библиографический список

1. Земсков В.И. Возобновляемые источники энергии в АПК: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2014. — 368 с.
2. Куликова Л.В., Меновщиков Ю.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / РАСХН, Сиб. отд-ние. Новосибирск, 2006. — 430 с.
3. Беркова Е.А. Эффективность использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ) в автономных тепло-энергетических комплексах для получения электрической и тепловой энергии в условиях Калининградской области. Отчет НИР.Инв. № 02201051665. — М.: МЭИ (ТУ), 2010.
4. Горяев А.А и др. Возобновляемые источники энергии: учебно — методическое пособие по решению контрольных задач по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»/ Горяев А.А., , Петухов С.В., Баланцева Н.Б., Бутаков С.В.. — Архангельск: Издательство САФУ, 2015г. — 100.

Приложении 1

Расчет ветроэнергетического кадастра

Для расчёта потребности в ветроустановках необходимо иметь исчерпывающую информацию о ветровой обстановке в районе как о природном процессе и преобразовании ветровой энергии в электрическую. Общие метеорологические характеристики 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: 1 - среднегодовая скорость ветра;

2 — годовой и суточный ход ветра;

3 — повторяемость скоростей, типы и параметры функций распределения скоростей;

4 — максимальная скорость ветра;

- 5 – распределение ветровых периодов и периодов энергетических затиший по длительности;
- 6 – удельная мощность и удельная энергия ветра;
- 7 – ветроэнергетические ресурсы района.

Средние скорости ветра

Основной характеристикой ветра, определяющей его интенсивность и эффективность использования ветровой энергии, является его средняя скорость за определённый 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.

В приложении №1 дана среднемесячная скорость ветра на высоте флюгера 10 м.

Среднегодовая скорость ветра определится:

$$V_c = \frac{1}{12} \cdot \sum_{i=1}^{12} V_m, \quad (4.7)$$

где V_m – среднемесячная скорость ветра, м/с.

Повторяемость скоростей ветра, его среднемесячная вероятность по градациям приведена в Приложении. Однако, для расчёта длительности затиший и расчёта рабочих периодов ветроустановки на высотах 20 – 100 м, необходимо пользоваться табулированными в % и днях в зависимости текущих скоростей ветра от среднегодовых скоростей ветра.

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

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

Вертикальный профиль ветрового потока определяется по формуле:

$$V_{h2} = V_{h1} \frac{(h_2)^m}{h_1}, \quad (4.8)$$

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 4.1 и на рисунке 4.1 приведены коэффициенты возрастания скоростей ветра на разных высотах.

Таблица 4.1.

Высота, м	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Коэффициент возраста	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(рисунок 4.1).

Повторяемость скорости ветра

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

В Приложении 2 приведена повторяемость скоростей ветра по градациям на высоте 10 м в процентах на различных участках Архангельской области.

В Приложениях 3 и 4 приведены значения повторяемости скоростей ветра в зависимости от среднегодовой скорости в процентах и днях.

Распределение рабочих периодов и периодов простоя ВЭУ по длительности.

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 $V_{\min.p} \approx 3 \text{ м/с}$, но меньше максимальной рабочей скорости $V_{\max.p}$, определяемой из условия обеспечения безопасности работы ВЭУ. Под периодом простоя $T_{пр}$ понимается время, в течение которого скорость ветра меньше $V_{\min.p}$ или больше $V_{\max.p}$.

$$\sum_{t=1}^{n1} T_p + \sum_{t=1}^{n2} T_{np} + \sum_{t=1}^{n3} T_{np} = T, \quad (4.9)$$

где n_1 – общее число рабочих периодов за год;
 n_2 и n_3 – число периодов простоя соответственно при скорости ветра
меньше $V_{\min \cdot p}$ и больше $V_{\max \cdot p}$;
 T – число часов в году – 8760.

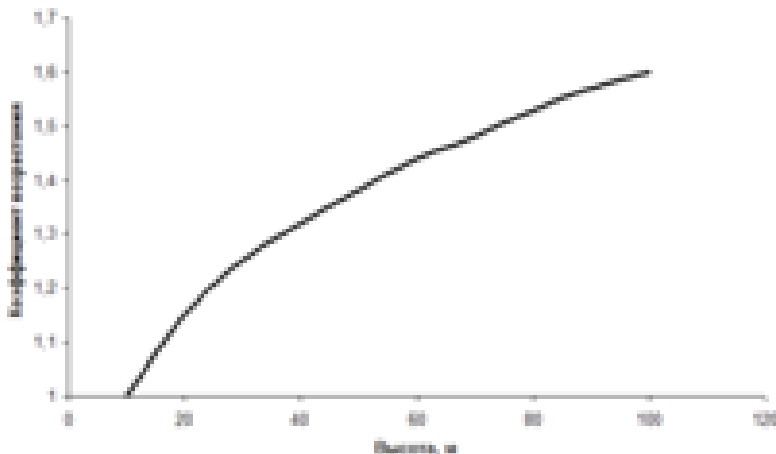
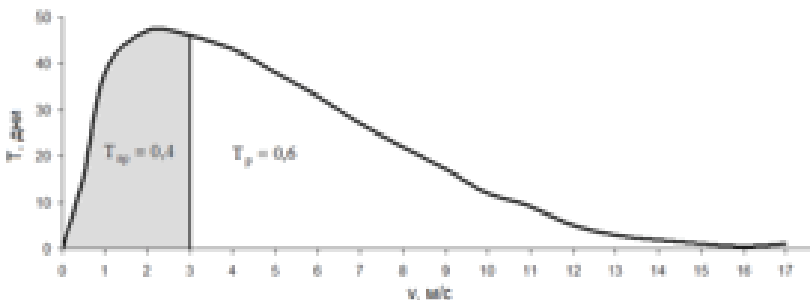


Рисунок 4.1. - Коэффициент возрастания средней скорости ветра в зависимости от высоты над землёй оси ветрового колеса.

Графически $\sum_{t=1}^{n1} T_p$ (рис.4.2) представляет собой площадь под кривой повторяемости ветра, ограниченную ординатами $V_{\min \cdot p}$ и $V_{\max \cdot p}$. Сумма отсечённой площади есть время простоя ВЭУ.

Рисунок 4.2.- Кривая повторяемости средней скорости ветра по Ме-



зе

нс

кой метеостанции № 45 на высоте 10 м за 10 лет (пример).

Удельная мощность и энергия ветрового потока

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

$$P_{\text{уд.п}} = \frac{\rho \cdot V^3}{2}, \quad (4.10.)$$

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, т.е. какую долю годового времени t_i ветер дул со скоростью V_i :

$$W_{\text{уд.п}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot T \sum_{i=1}^k t_i \cdot V_i^3, \quad (4.11.)$$

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 поток

$$P_{\text{ср}} = \frac{W_{\text{уд.п}}}{T}, \quad (4.12.)$$

Мощность ветроустановки:

$$P_{\text{взу}} = \eta \cdot \xi \cdot P_{\text{уд.п}} \cdot A_0, \quad (4.13.)$$

где η – коэффициент полезного действия, 0,85; ξ – коэффициент ветроиспользования, 0,45;

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

На рисунке 4.3 в качестве примера показано, как формируется годовая сумма удельной энергии ветра (площадь под кривой $W_{уд}$) при среднегодовой скорости ветра 5,95 м/с. Из – за кубической зависимости мощности от скорости ветра наибольший вклад дают не наиболее часто наблюдаемые и даже не средние скорости ветра, а скорости, превышающие последние в 1,7 – 1,9 раза.

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», «Siemens» (Германия), «GE» (США), в РФ изготавливают ветроустановки НПО «Ветроэн», МКБ «Радуга» и др. При подборе ветроустановок желательно устанавливать не одну мощную ветроустановку, а несколько ветроустановок меньшей мощности.

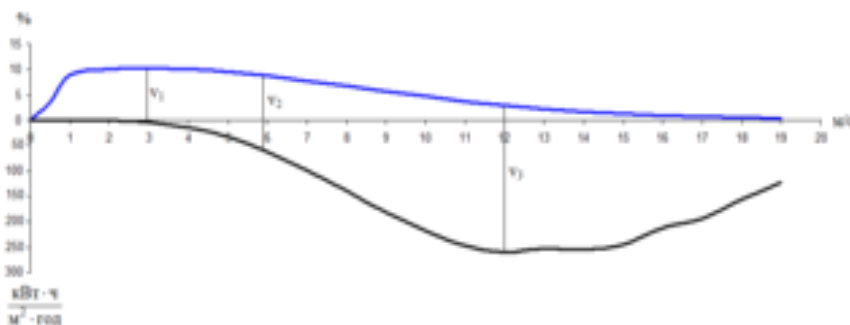


Рисунок 4.3.- Повторяемость скоростей ветра и распределение годовой удельной энергии $W_{уд}$ на высоте 30 м (пример): v_1 – наиболее часто наблюдаемая скорость, v_2 – средняя скорость ветра, v_3 – скорость, обеспечивающая наибольший вклад в годовую выработку энергии.

Ветроэнергетические ресурсы

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

Валовой (теоретический) потенциал ветровой энергии района – это средне многолетняя суммарная ветровая энергия движения воздушных

масс над данной территорией в течение одного года, которая доступна для использования.

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

$$W_{\epsilon} = W_{уд} \frac{S}{20}, \quad (4.14.)$$

где $S = 10^6$, м^2 ;

Под техническими ветроэнергоресурсами понимается та часть валовых ресурсов, которая может быть использована с помощью имеющихся в настоящее время технических средств. Существующий уровень развития техники позволяет использовать энергию ветра с помощью отдельностоящих ВЭУ. Это ВЭУ с горизонтальной и вертикальной осью ветроколеса.

Для оценки эффективности работы ВЭУ построим зависимость распределения удельной мощности ветра (рисунок 4.4). Площадь под кривой 1 представляет собой годовую удельную энергию ветра, приходящуюся на 1 м^2 поперечного сечения ометаемой площади ветроколесом. В соответствии с критерием Бетца и теорией Н.Е. Жуковского в полезную работу может быть преобразована только часть ветровой энергии, проходящей через сечение ветроколеса, которая оценивается коэффициентом $\epsilon = 0,593$. На практике коэффициент ϵ у лучших образцов ВЭУ достигает значений 0,45 – 0,48.

При скоростях ветра ниже минимальной рабочей скорости $V_{\text{мин}\cdot p}$ мощности ветроколеса не хватает на преодоление сил трения в узлах ВЭУ. В диапазоне скоростей от $V_{\text{мин}\cdot p}$ до расчётной скорости ветра V_p , при которой ВЭУ развивает номинальную мощность N_n , использование энергии ветра осуществляется наиболее полно.

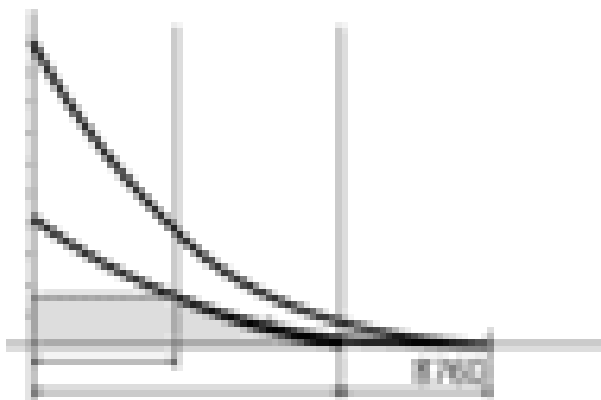


Рисунок 4.4. - Теоретическое распределение удельной мощности ветра (1), удельной мощности на валу ветроколеса (2) и фактическое распределение удельной мощности ВЭУ (3,4)

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

$$N_0 = 4.81 \cdot 10^{-4} \cdot D^2 \cdot V_p^3 \cdot \varepsilon \cdot \eta_p \cdot \eta_g, \quad (4.15)$$

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

Для суммарной установленной мощности на 1 км^2 земной поверхности используется формула:

$$N_1 = N_0 \cdot \left(\frac{1000}{D} \right)^2, \quad (4.16)$$

где D – диаметр ветроколеса, м.

С учётом (4.15) будем иметь:

$$N_1 = 4.81 \cdot V_p^3 \cdot \varepsilon \cdot \eta_p \cdot \eta_g, \quad (4.16)$$

Суммарная установленная мощность ВЭУ, размещённых на единице площади, не зависит от диаметра колеса, а определяется расчётной скоростью ветра V_p и техническим совершенством ВЭУ. [5]

Приложение 2

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 работы и 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 $M_{50\%}=1,01 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$

$$Q_0 = \frac{M_{50\%} F}{1000} = \frac{1,01 \cdot 346}{1000} = 0,35 \text{ м}^3 / \text{с}^2$$

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 $\varphi_{c \max} = 0,21$, которому соответствуют расчетная обеспеченность $p = 6 \text{ мес}$ и расчетный модульный коэффициент $k_{p\%} = 0,40$.

При отсутствии регулирования, при работе станции на естественном стоке и среднем напоре $H = 4,0 \text{ м}$ установленная мощность по формуле (4.18)

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

При наличии регулирующего бьефа с объемом, достаточным для суточного регулирования и продолжительности работы микро ГЭС в сутки, на-

пример, $T=10$ часов, найденная установленная мощность может быть увеличена согласно формуле (4.19) до

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

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,	0,005	0,003	0,13	2,67	0,40	0,22	0,23	0,15	0,11	0,14	0,09	0,02

м ³ /с												
-------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

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 м³/с.

Для приплотинных микро ГЭС 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.

В формуле (4.20) значение m для турбины типа ПР принимает значение, близкое к единице, поэтому количество агрегатов в пределах установленной мощности в створе p . Кабанка.

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

Первый вариант. В створе ГЭС возможна установка двух агрегатов: а) при суточном регулировании $P_{ycm} = 9,4$ кВт, время работы $T = 10$ ч, т.е. каждая турбина должна иметь мощность по 4,7 кВт при напоре $H = 4$ 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 к.п.д. невозможны из-за отсутствия полных рабочих характеристик турбин.

В течение летне-осенней межени семь месяцев ($T = 2150$ ч) работают обе турбины, вырабатывая $W = 20210$ кВт·ч, и два месяца – одна турбина ($T = 600$ ч), вырабатывая 2820 кВт·ч. Сумма за год $W = 23030$ кВт·ч; суточное регулирование в створе невозможно, $P_{уст} = 3,9$ кВт при среднем напоре $H = 4$ м, работают две турбины $P = 2$ кВт каждая равномерно в течение суток ($T = 24$ 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, т.к. 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 попуска. Согласно проведенным исследованиям, установленная мощность энергетической установки для малых водохранилищ составит 0,60 кВт. Целесообразно установку такой мощности использовать в период открытого русла [2].

Составители:

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

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Методические указания для проведения практических занятий

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

Подано в печать «__» _____ 2018 г. Формат 60х84 ¹/₁₆
Объем **1,5** уч.-изд. л., 2,8 усл. печ. л.
Тираж 50 экз. Изд №__ Заказ __

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