



В.Ю. Сапа

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
НЕТРАДИЦИОННОЙ
И ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Костанай, 2019

Министерство образования и науки Республики Казахстан
Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова
32.85я73 Кафедра электроэнергетики и физики
С 19

В.Ю. Сапа

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕТРАДИЦИОННОЙ И
ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Учебное пособие

Костанай, 2019

УДК 621.389(075.8)
ББК 32.85я73
С 19

Автор:

Сапа Владимир Юрьевич, кандидат технических наук, доцент

Рецензенты:

Баймухамедов Малик Файзулович – доктор технических наук, профессор, проректор по науке и международным связям КСТУ

Гайфуллин Гаяз Закирович – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения КГУ имени А. Байтурсынова

Курманов Аяп Конлямжаевич – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения КГУ имени А. Байтурсынова

Сапа В.Ю.

С 19 Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики:

Учебное пособие. – Костанай, КГУ им. А.Байтурсынова, 2019 – 87с.

ISBN 978-601-7985-49-3

Учебное пособие содержит теорию, практические задания, примеры решения задач по теоретическим основам нетрадиционной и возобновляемой энергетике.

Предназначено для магистрантов обучающихся по специальности 6М071800 – Электроэнергетика.

УДК 621.389(075.8)
ББК 32.85я73

Утверждено и рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом Костанайского государственного университета имени А. Байтурсынова, протокол от 29.04.2019 г. № 3.

ISBN 978-601-7985-49-3

©Сапа В.Ю., 2019

Содержание

Введение.....	4
1 Основы теории нетрадиционной и возобновляемой энергетики.....	5
1.1 Энергия солнца.....	5
1.2 Гидроэнергетика.....	14
1.3 Ветроэнергетика.....	19
1.4 Биоэнергия.....	28
1.5 Аккумуляирование тепла.....	35
1.6 Механическое аккумуляирование.....	40
1.7 Установки для опреснения воды.....	44
1.8 Геотермальная энергия.....	51
1.9 Энергия прилива.....	57
2 Практические задания.....	63
3 Примеры решения задач.....	73
4 Рекомендуемые темы презентаций.....	84
Заключение.....	86
Список использованных источников.....	87

Введение

Нетрадиционные источники энергии – возобновляемые, не ограничены геологически накопленными запасами. Их использование и потребление не приведет к неизбежному исчерпанию запасов. Нетрадиционные источники энергии можно объединить единым термином «экоэнергетика», под которым подразумевается получение чистой энергии, не вызывающей загрязнения окружающей среды.

В учебном пособии рассмотрены вопросы современного состояния развития энергетики возобновляемых источников, приведены причины бурного роста мощности установок на основе возобновляемых источников энергии в мире. Показано, что движущими силами, заставляющими государства заниматься интенсивным развитием ВИЭ, является необходимость обеспечения ресурсной безопасности, энергетической и экологической безопасности, а также социально-экономической безопасности.

Учебное пособие «Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики» включает в себя теоретические сведения и практические задания по нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии и предназначено для магистрантов обучающихся по специальности 6М071800 – Электроэнергетика и других специальностей, ориентированных на углубленное изучение курса по теоретическим основам нетрадиционной и возобновляемой энергетики.

Список рекомендуемой литературы:

- 1 Ада, Роза. Возобновляемые источники энергии. Физико–технические основы [Текст]: учебное пособие / пер. с англ. Под редакцией С.П. Малышенко, О.С. Попеля. – Долгопрудный: Издат. дом «Интеллект»; М.: Издат. дом МЭИ; 2010. – 704с.
- 2 Горяев, А.А. Возобновляемые источники энергии [Текст]: учеб. Пособие / А.А. Горяев, Г.А. Шепель. – Архангельск: САФУ, 2010. – 120с.
- 3 Хахалева, Л.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Текст]: Пособие для проведения практических занятий / Л.В. Хахалева – Ульяновск, 2008. – 32с.

1 Основы теории нетрадиционной и возобновляемой энергетики

1.1 Энергия солнца

Солнечное излучение характеризуется широким спектральным диапазоном - от радио волн до гамма-излучения. Наши глаза воспринимают менее 1/8 части этого спектрального интервала. Диапазон от 100 до 750 ТГц (от 750 до 400 нм) по очевидным причинам называется видимым спектром, на него приходится около 45 % от всей излучаемой Солнцем энергии. На расстоянии 1 а.е. от Солнца плотность потока его излучения составляет 1360 Вт/м. Эта величина называется солнечной постоянной, которая в действительности не является постоянной: она немного изменяется в течение года, достигая максимального значения в январе, когда Земля находится на самом близком расстоянии от Солнца. Выражение «плотность потока излучения» используется для обозначения мощности излучения, приходящего на 1 м² поверхности. Мы также будем пользоваться выражением «спектральная плотность потока излучения» для обозначения мощности, приходящейся на единичный частотный интервал или на единичный интервал длин волн. Приблизительное распределение энергетического потока солнечного излучения по различным спектральным диапазонам имеет следующий вид: Инфракрасный диапазон и более длинные волны ($f < 400$ ТГц, $\lambda > 750$ нм) – 46,3 %. Видимый спектр (400 ТГц $< f < 750$ ТГц, 400 нм $< \lambda < 750$ нм) – 44,6 %. Ультрафиолетовое излучение и более высокие частоты ($f > 750$ ТГц, $\lambda < 400$ нм) – 9,1 %.

Более детальное описание солнечного излучения представлено в таблице 1, в которой приведена доля солнечной постоянной G в частотном диапазоне, лежащем выше заданного значения частоты f . В графическом виде спектральное распределение мощности солнечного излучения представлено на рисунке 1. Для сравнения на этом же рисунке показаны два спектральных распределения излучения абсолютно черного тела, имеющего температуру 6000 К, соответствующих равным интервалам по длине волн и частоте излучения. Оба этих распределения, хотя и описывают одно и то же излучение, но имеют максимумы в разных точках спектра [1].

Все, о чем мы говорили выше, относится к солнечному излучению на внешней границе земной атмосферы. Плотность потока солнечного излучения на поверхности Земли из-за влияния атмосферы оказывается меньше, чем в без воздушном пространстве. Излучение с частотой выше 1000 ТГц ($\lambda < 300$ нм) поглощается главным образом в верхних слоях атмосферы в результате фотохимических реакций, приводящих к фотоионизации и нагреву воздуха.

Эта часть спектра содержит в себе всего около 1,3 % энергии потока солнечного излучения. Озоновый слой, находящийся на высоте около 25 км, поглощает большую часть энергии высокочастотной части спектра, поскольку он практически непроницаем для ультрафиолетового излучения. Если бы плотность атмосферы во всех точках была равна её плотности на уровне моря,

то толщина атмосферы была бы всего около 8 км, а озонового слоя около 2 мм [1].

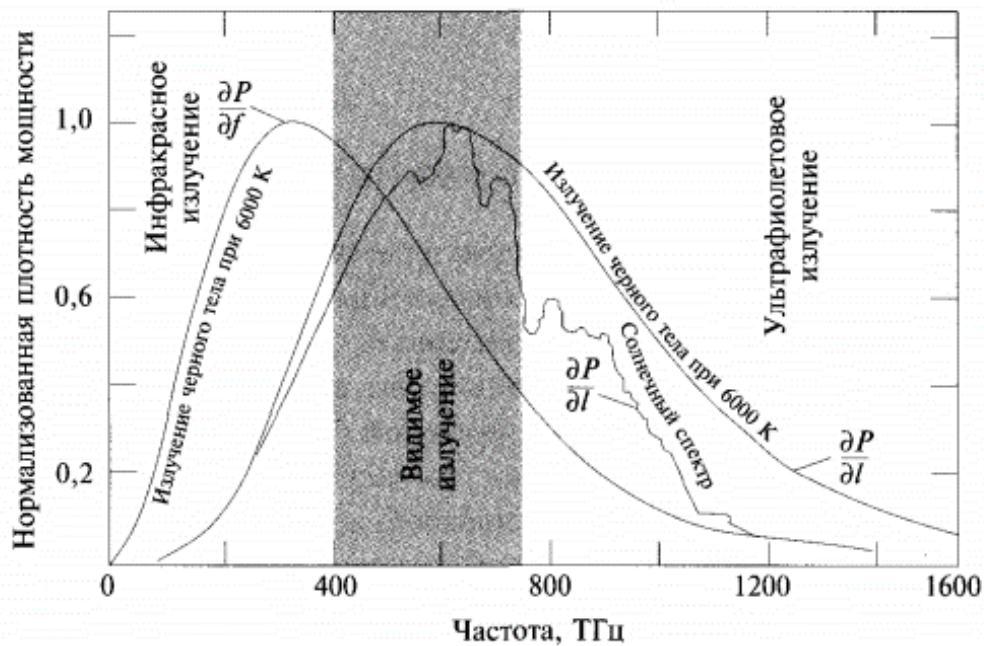


Рисунок 1 – Спектральное распределение плотности потока солнечного излучения в сравнении со спектральным распределением абсолютно черного тела

Таблица 1 – Характеристики плотности потока солнечного излучения. Доля от суммарной плотности энергетического потока (солнечной постоянной G)

f, ТГц	G	f, ТГц	G	f, ТГц	G	f, ТГц	G
1	2	3	4	5	6	7	8
43	0,9986	176	0,9083	536	0,3180	779	0,0778
50	0,9974	188	0,8940	541	0,3120	789	0,0735
60	0,9951	200	0,8760	545	0,3050	800	0,0690
61	0,9948	214	0,8550	550	0,2980	811	0,0642
63	0,9945	231	0,8290	556	0,2900	822	0,0595
64	0,9941	250	0,7960	561	0,2830	833	0,0553
65	0,9938	273	0,7570	566	0,2760	845	0,0510
67	0,9933	300	0,7090	571	0,2690	857	0,0469
68	0,9929	316	0,6810	577	0,2630	870	0,0427
70	0,9923	333	0,6510	583	0,2560	882	0,0386
71	0,9918	353	0,6170	588	0,2490	896	0,0346
73	0,9913	375	0,5790	594	0,2420	909	0,0308
75	0,9905	400	0,5370	600	0,2350	923	0,0266
77	0,9899	405	0,5270	606	0,2280	938	0,0232
79	0,9891	411	0,5180	612	0,2200	952	0,0233
81	0,9883	417	0,5080	619	0,2130	968	0,0166
83	0,9874	423	0,4980	625	0,2060	984	0,0150

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
86	0,9863	429	0.4880	632	0,1980	1000	0,0130
88	0.9852	435	0.4780	638	0,1900	1017	0,0106
91	0,9839	441	0,4670	645	0,1820	1034	0,0085
94	0,9824	448	0,4560	652	0,1750	1053	0,0070
97	0,9808	455	0,4450	659	0,1670	1071	0,0059
100	0,9790	462	0.4330	667	0,1590	1091	0,0051
103	0,9772	469	0,4210	674	0,1510	1111	0,0042
107	0,9747	476	0,4090	682	0,1440	1132	0,0035
111	0,9721	484	0,3970	690	0,1370	1154	0,0029
115	0,9690	492	0,3840	698	0,1300	1176	0,0025
120	0,9657	500	0,3720	706	0,1240	1200	0,0021
125	0,9618	504	0,3650	714	0,1170	1224	0,0018
130	0,9571	508	0,3590	723	0,1100	1250	0,0016
136	0.9520	513	0,3520	732	0,1030	1277	0,0014
143	0,9458	517	0,3450	741	0,0970	1304	0,0011
150	0,9387	522	0,3390	750	0.0908	1333	0.0008
158	0,9302	526	0,3320	759	0.0860	1364	0.0006
167	0,9203	531	0,3250	769	0,0819	-	-

Несмотря на то что в природе солнечное излучения лежат различные физические механизмы, в целом оно приблизительно соответствует излучению абсолютно черного тела. Энергия, приходящаяся на единицу объема и единицу частотного интервала внутри полого абсолютно черного тела ($\text{Дж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$), описывается законом Планка:

$$\frac{dW}{df} = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{f^3}{\exp(hf/kT) - 1} \quad (1)$$

В представленном выше выражении W - концентрация энергии в единице объема. Поток энергии равен произведению концентрации энергии на скорость света (аналогично потоку частиц, который равен произведению удельной концентрации частиц на их скорость). Поток энергии ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$), как было сказано выше, равен плотности мощности излучения P :

$$\frac{dP}{df} \propto \frac{8\pi h}{c^3} \frac{f^3}{\exp(hf/kT) - 1} \quad (2)$$

В пересчете на единичный интервал длин волн ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{м}^{-1}$)

$$\frac{dP}{d\lambda} \propto \frac{\lambda^{-5}}{\exp(hc/kT) - 1}. \quad (3)$$

Описание спектра солнечного излучения как излучения абсолютно черного тела (АЧТ) приводит к наилучшему совпадению форм спектров при температуре черного тела 6000 К и равенству значений интегральных плотностей потоков излучения на расстоянии одной астрономической единицы (1360 Вт/м) при температуре АЧТ, равной 5800 К [1].

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

$$Q_c = \tau_{пр} \cdot \alpha_{пг} \cdot A_{п} \cdot G, \text{ Вт}, \quad (4)$$

где G - облученность приемника, Вт/м²; $A_{п}$ - площадь освещенной поверхности, м²;

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

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

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

Теплоотдача приемника в окружающую среду:

$$Q_t = A_{п} \cdot (T_{пр} - T_{ср})/R_t, \text{ Вт}, \quad (5)$$

где $T_{пр}$ - температура приёмника, °С;

$T_{ср}$ - температура окружающей среды, °С;

R_t - термическое сопротивление, К/Вт.

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

$$Q_{\Sigma} = \tau_{пр} \cdot \alpha_{п} \cdot A_{п} \cdot G - [(T_{пр} - T_{ср})/R_t] = \eta_{и} \cdot A_{п} \cdot G, \quad (6)$$

где $\eta_{и}$ - 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

$$Q_{\text{ж}} = k Q_{\Sigma}, \quad (7)$$

Поток тепла при нагревании массы жидкости m :

$$Q_{\text{ж}} = m c \cdot dT_{\text{ж}}/dt, \quad (8)$$

где $T_{\text{ж}}$ - температура жидкости, °C;
 c - теплоёмкость жидкости, Дж/(кг K).

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

$$Q_{\text{ж}} = m_1 \cdot c (T_2 - T_1), \quad (9)$$

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 :

$$q = \Delta T / r, \text{ Вт/м}^2, \quad (10)$$

$$Q = q \cdot A = \Delta T \cdot A / r, \text{ Вт} \quad (11)$$

$$R_T = r / A, \text{ К/Вт}, \quad r = R \cdot A, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \quad (12)$$

где r - удельное термическое сопротивление. м²·К/Вт

$$q = \alpha \cdot \Delta T, \quad (13)$$

где α - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² K).

$$\alpha = 1/r, \quad (14)$$

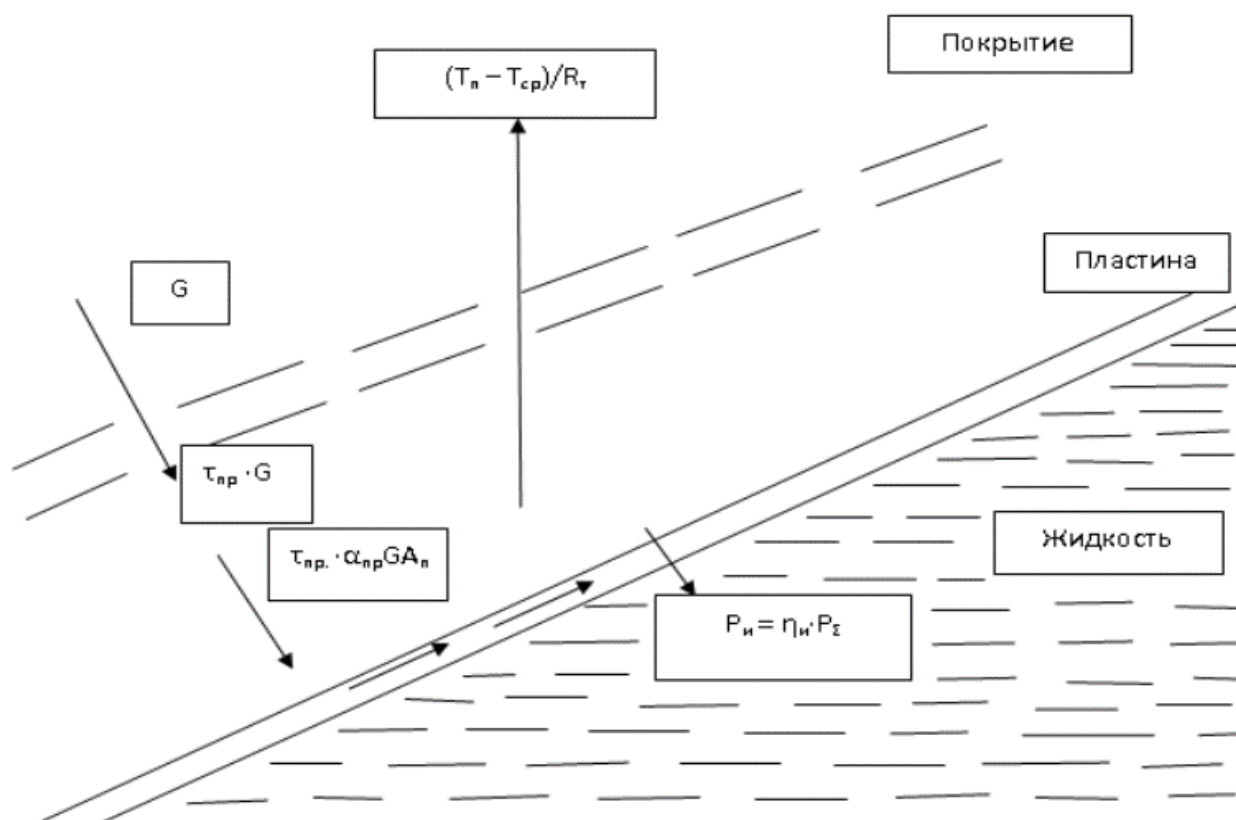


Рисунок 2 – Схема нагрева жидкости в коллекторе солнечным излучением

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:

$$Q = -\lambda \cdot A_n \cdot \Delta T / \Delta \quad (15)$$

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:

$$R_n = \Delta x / \lambda A_n \quad (16)$$

и удельное термическое сопротивление:

$$r_n = R_n \cdot A_n = \Delta x / \lambda, \quad (17)$$

У неподвижного воздуха

$$\lambda = 0,03 \text{ Вт/(м·К)}.$$

Время, необходимое для повышения температуры:

$$\Delta t = \Delta T / (dT_{\text{ж}}/dt), \text{с} \quad (18)$$

$$C_{\text{ж}} = m \cdot c, \quad (19)$$

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

c - удельная теплоёмкость;

m - масса жидкости.

Уравнение теплового баланса для рисунке 2.

$$m \cdot c \cdot dT_{\text{ж}}/dt = \tau_{\text{п}} \alpha_{\text{п}} A \cdot G - (T_{\text{ж}} - T_{\text{ср}}) / R_{\text{п}} \quad (20)$$

где $R_{\text{п}}$ - полное термическое сопротивление промежутка между приёмной поверхностью резервуара и окружающим воздухом.

$$R_{\text{п}} = [(1/R_{\text{к, п-с}}) + (1/R_{\text{из, п-с}})]^{-1}, \text{К/Вт}, \quad (21)$$

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

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

Полное термическое сопротивление промежутка приёмная поверхность нагревателя – стеклянная крышка:

$$R_{\text{п}} = [(1/R_{\text{к-с}}) + (1/R_{\text{из-с}})]^{-1}, \text{К/Вт}, \quad (22)$$

Наличие стеклянной крышки в 4 раза повышает сопротивление теплопотерям между поверхностью нагретой воды и окружающим воздухом. Подогреватели воздуха. Энергия, передаваемая воздуху от поглощающей поверхности в единицу времени:

$$P_{\text{и}} = \rho \cdot c \cdot Q_{\text{р}} \cdot (T_2 - T_1), \quad (23)$$

где ρ - плотность воздуха, $1,2 \text{ кг/м}^3$; c - теплоёмкость воздуха, 1 кДж/(кг·К) ;

T_1 и T_2 - температура входящего и выходящего воздуха, $^{\circ}\text{С}$;

$Q_{\text{р}}$ – объёмный расход воздуха, м^3 .

Зерносушилки. Абсолютная влажность зерна определяется по формуле:

$$W = (m - m_0) / m_0, \quad (24)$$

где m - текущая масса пробы;

m_0 - масса сухого вещества пробы.

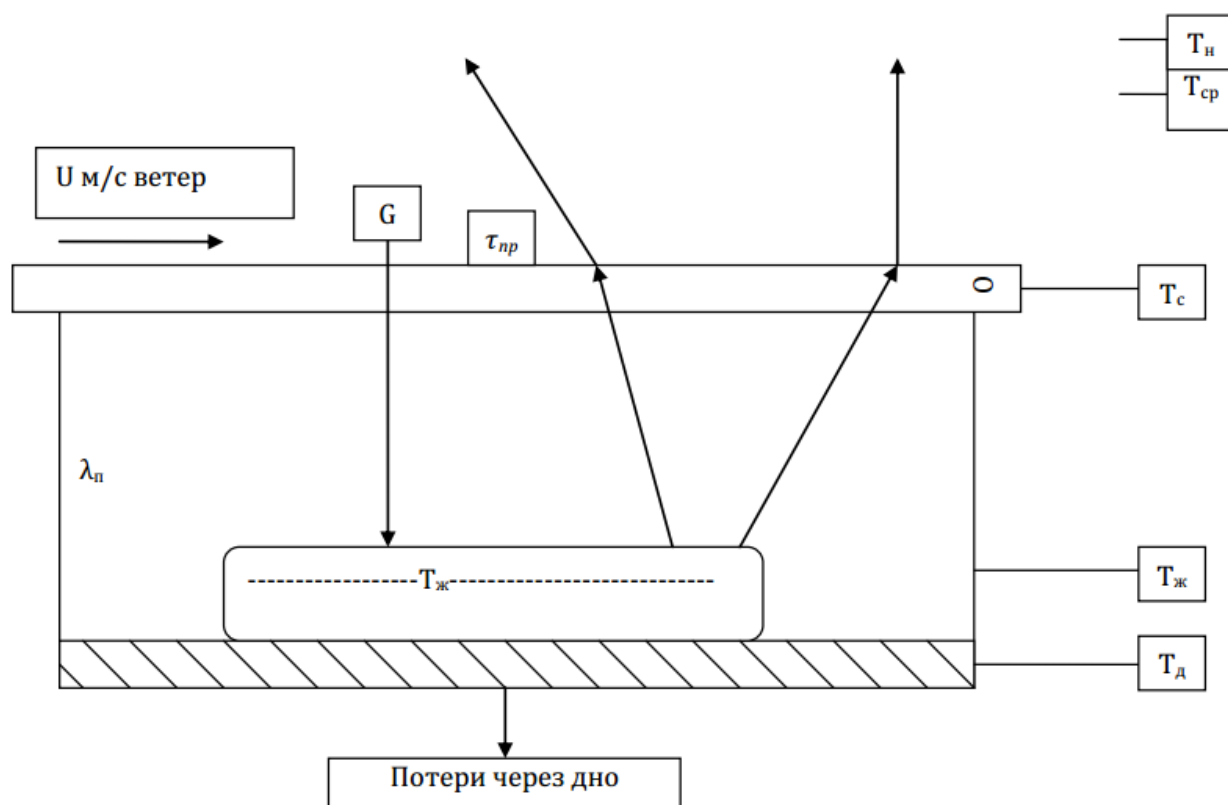


Рисунок 3 – Закрытый чёрный нагреватель T - температура: T_n - неба, T_{cp} - среды, T_c - стекла, T_j - жидкости, T_d - дна.

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 :

$$m_v \cdot r = \rho \cdot c \cdot V (T_1 - T_2), \quad (25)$$

где r - удельная теплота парообразования воды, при $p = 0,1 \text{ МПа}$ и $T = 100^\circ\text{C}$, $r = 2257 \text{ кДж/кг}$.

Солнечные отопительные системы.

Тепловой баланс внутри здания описывается уравнением:

$$m \cdot c \cdot dT_r/dt = \tau_{пр} \cdot \alpha_{п} \cdot G \cdot A_{п} - (T_r - T_{ср})/R_t, \quad (26)$$

где T_r – комфортная температура в помещении, °С;

$A_{п}$ – площадь приёмника, м²;

G – интенсивность солнечного излучения, Вт/м².

Если температура в комнате постоянна, то:

$$\tau_{пр} \cdot \alpha_{п} \cdot G = (T_r - T_{ср})/r, \quad (27)$$

где $\tau_{пр}$ – пропускание стекла, 0,9;

$\alpha_{п}$ – 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:

$$T_r - T_{ср} = (T_r - T_{ср})_{t=0} \exp[-t/(RC)], \quad (28)$$

где $R = r \cdot A_{п} - 1$;

$C = m c_m$ – масса стенки, кг;

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

КПД солнечной батареи

$$\eta = P_{и} / A_{п} \cdot G \quad (29)$$

ЭДС солнечной батареи

$$E = P_{и} / I_2, \quad (30)$$

где I – величина тока, А;

$P_{и}$ – мощность солнечной батареи, Вт.

Производительность солнечного дистиллятора Π определяется:

$$\Pi = G/r, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{день}, \quad (31)$$

где G – поток излучения, МДж/м² день;

γ - удельная теплота парообразования, 2,4 МДж/кг.

1.2 Гидроэнергетика

Гидротехника (в переводе с греческого - водное мастерство) - одна из отраслей строительного искусства. Основная задача гидротехники как отрасли строительной техники - возведение сооружений, дающих возможность использовать водные ресурсы. Как всякое мастерство высокого уровня, гидротехника опирается на определенные знания. Как отрасль знаний гидротехника является прикладной технической наукой, позволяющей обосновать проектирование, строительство и эксплуатацию гидротехнических сооружений.

Энергетика - отрасль техники, задача которой - обеспечение человечества энергией. Как отрасль знаний энергетика - прикладная наука, позволяющая обосновать проектирование, создание и эксплуатацию энергетических установок.

Один из важнейших способов получения электрической энергии основан на использовании водной энергии. Гидроэлектроэнергетика - отрасль техники и прикладная наука, соединяющая в себе элементы гидротехники и энергетики. В ней изучаются как способы получения электрической энергии, так и гидротехнические сооружения (ГЭС), необходимые для получения электрической энергии на основе использования водной энергии [4].

Гидроэлектростанция (ГЭС) – основной объект гидроэлектроэнергетики (применяется и термин гидростанция). Она представляет собой неразрывную систему гидротехнических сооружений и оборудования для получения электрической энергии из энергии воды.

Крупная ГЭС - не только источник электрической энергии. Появление крупной ГЭС существенно влияет на природную среду обширного региона, а также оказывает благотворное преобразующее влияние на состояние экономики и социальную сферу. Вместе с тем, в мире во второй половине XX века было обращено внимание на негативное влияние ряда построенных крупных ГЭС на окружающую среду. Экологические последствия сооружения ГЭС недостаточно учитывались при их проектировании. Гидроэлектроэнергетика и тепловая энергетика (способ получения электроэнергии на основе сжигания топлива) в последние десятилетия XX века оказали существенное влияние на развитие науки - экологии, изучающей закономерности взаимодействия общества с окружающей средой. Эффективные решения экологических задач при проектировании ГЭС позволят избежать их негативного влияния на окружающую среду и придадут гидроэлектростанциям ещё большую общественную значимость.

В последние годы имеют место высказывания о приоритете строительства малых ГЭС. Понятие «малые ГЭС» достаточно условное, но тем не менее наибольшее распространение классификации ГЭС по мощности

(энергетическая характеристика, равная отношению работы к интервалу времени её совершения) получили следующие:

- микрогидроэлектростанции (микроГЭС)
- минигидроэлектростанции (миниГЭС)
- малые гидроэлектростанции мощностью
- средние гидроэлектростанции мощностью
- мощностью менее 0,1 МВт;
- мощностью 0,1-1 МВт;
- 1-10 МВт;
- 10-1000 МВт;
- крупные гидроэлектростанции мощностью выше 1000 МВт [4].

Современная гидроэлектростанция представляет собой сложный природно-технический комплекс. Однако в этом комплексе можно выделить несколько основных, определяющих элементов, без которых существование ГЭС невозможно. Это плотина - основное гидротехническое сооружение, турбина и генератор - основное гидросиловое оборудование ГЭС, преобразующие энергию воды в электрическую, а также распределительные устройства и отходящие от него линии электропередачи с сопутствующим оборудованием, обеспечивающие распределение и транспортировку электроэнергии от производителя (ГЭС) к потребителю.

Гидроэлектростанция не только гидротехническое сооружение, но и предприятие по производству электрической энергии.

Как предприятие-производитель электрической энергии гидроэлектростанция снабжена основным оборудованием - гидротурбинами, гидрогенераторами, распределительными устройствами (РУ) и линиями электропередачи (ЛЭП). Рассмотрим схематично историю развития оборудования гидроэлектростанций.

Ирригация положила начало многим замечательным открытиям. Изобретатель рычага и автор знаменитого закона Архимед (287-212 гг. до н.э.) предложил первый насос - червячный винт. Известный математик Герон из Александрии (умер в 70 г. до н.э.) изобрел первый теодолит (прибор для измерения на местности горизонтальных и вертикальных углов). Нивелир (прибор для определения высот точек земной поверхности относительно некоторой избранной точки) появился еще раньше: первый гидронивелир - канава, заполненная водой. Римскому инженеру Ктесибью (около 100 г. до н.э.) приписывается изобретение нагнетательного насоса. Великому художнику и ученому Возрождения Леонардо да Винчи - изобретение шлюза (сооружение для подъема, опускания судов с одного уровня воды на другой) со створными воротами (1495 г.). Первые шлюзы с опускными воротами появились несколько раньше. Одни исследователи считают, что первый шлюз был построен в Нидерландах, другие полагают, что первый шлюз построили в Милане в 1438 г. итальянцы Филиппо из Модены и Фиорованти из Болоньи, чтобы доставить

камни для строительства знаменитого Миланского собора. В Китае считают, что у них первые шлюзы появились на 600 лет раньше, чем в Европе [4].

Гидравлической турбиной (гидротурбиной) называют двигатель, преобразующий механическую энергию воды в энергию вращения твёрдого тела (рабочего колеса гидротурбины). Настоящий раздел посвящен только гидравлическим турбинам и насосам, поэтому в дальнейшем слово «гидравлическая» опускается.

Использование энергии потока в наклонном русле является древнейшим способом утилизации водной энергии, уходящим, как уже отмечалось, ко времени зарождения цивилизации. Вначале использовались лишь кинетическая энергия потока, т.е. на реках не было никак подпорных сооружений. Колесо, снабженное плоскими лопастями, опускалось в текущую воду, и лопасти, подхватываемые течением, заставляли колесо вращаться. Схема работы такого простейшего гидродвигателя - водоподливное колесо - представлена на схеме (см. рисунок 4) [4].

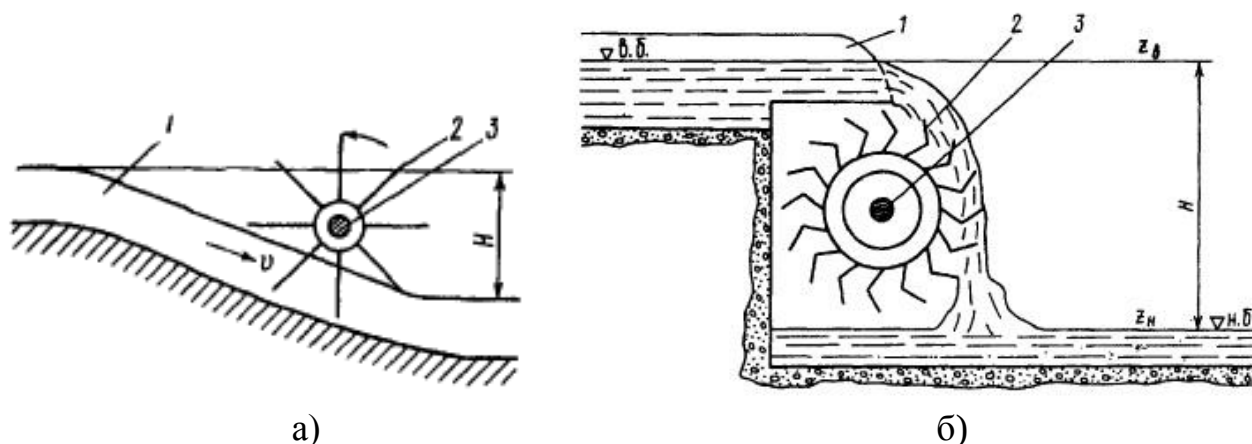


Рисунок 4 – Схема работы: а) водоподливного и б) водоналивного колеса 1 - наклонное русло реки (а), лоток, подводящий воду (б); 2 - лопасти колеса; 3 - вал колеса

Промышленное применение гидроэнергии в России началось в 60-х годах XVIII века, когда знаменитый русский гидротехник К.Д. Фролов создал на Алтае подземный каскад из водяных колес, приводивших в движение горнорудные механизмы и насосы (см. рисунок 5). Весь путь воды в этой установке составлял 1051 м [4].

Кинетическая энергия потока, которая, будучи отнесена к единице массы жидкости, определяется выражением $v^2/2$. Отсюда мощность водоподливного колеса ($N_{к.с.}$), исходя из уравнения мощности потока (см. ранее), определяется аналогично: $N_{к.с.} = W \cdot \rho \cdot v^2/2t = \rho \cdot Q \cdot v^2/2$, где: W - объём жидкости, имеющий массу ρW ; ρ - плотность жидкости, 1000 кг/м^3 ; v - скорость потока м/с; Q - объём жидкости в секунду (расход).

Кроме водоподливного с глубокой древности применялось и водоналивное колесо, схематично представленное на рисунке 4б. Если в

предыдущем примере сила тяжести воды, текущей по сильно наклоненному руслу, использовалась для создания скорости в потоке v , то здесь она (тяжесть воды) непосредственно приводит колесо во вращение, перемещая и непрерывно заполняя лотки колеса, т.е. это колесо использует энергию положения потока.

Если бы удавалось заполнять и опорожнять весь объем лотка в самом верхнем и нижнем положениях, то работа и мощность такого колеса равнялась бы работе и мощности потока. Практически этого сделать нельзя, так как вода не сразу заполняет лоток и начинает выливаться из него, не дойдя до нижней точки, т.е. используемая энергия оказывается меньше [4].

Водяные колеса, как гидродвигатели, использующие кинетическую энергию потока по схеме на рисунке 4а и энергию положения по схеме на рисунке 4б, из-за невозможности применения их для получения значительных мощностей распространения не получили. Развитие пошло по пути поиска более совершенных преобразователей водной энергии, где используется напор потока, получивших название - турбины.

Подвод воды в турбинах выполняется напорными водоводами. Одна из широко применяемых схем турбинной установки изображена на рисунке 6.

Подобные схемы позволяют значительно лучше, чем в открытых руслах, использовать энергию потока в широком диапазоне мощностей и напоров [4].

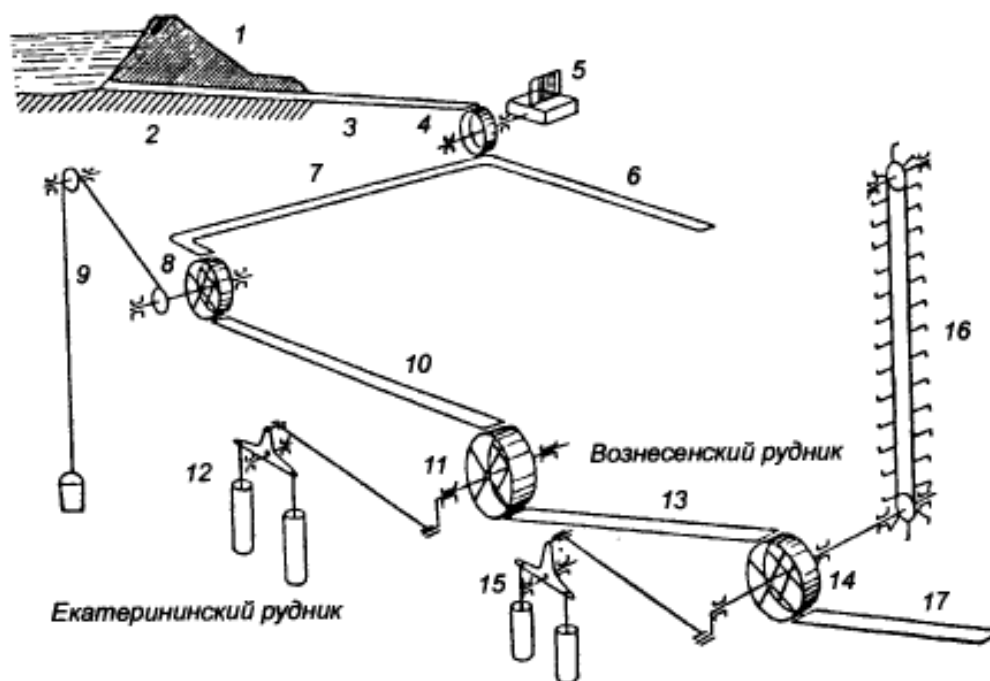


Рисунок 5 – Схема гидроэнергетической установки К. Д. Фролова на рудниках Алтая. 1 - плотина длиной 128 м и высотой 17,5 м; 2 - тоннель длиной 443 м; 3 - канал длиной 96 м; 4 - водяное колесо диаметром 4,3 м; 5 - лесопилка; 6 - отвод воды к Преображенскому руднику; 7 - подземный канал длиной 128 м; 8 - водяное колесо диаметром 4,3 м; 9 - рудоподъемник на высоту до 102 м; 10 - подземный канал длиной 64 м; 11 - водяное колесо диаметром 17 м; 12- насосы

Екатерининского рудника; 13 - подземный канал длиной 320 м; 14 - водяное колесо диаметром 15 м; 15 - насосы Вознесенского рудника; 16 - рудоподъемник Вознесенского рудника; 17 - отвод в р. Корбалиху.

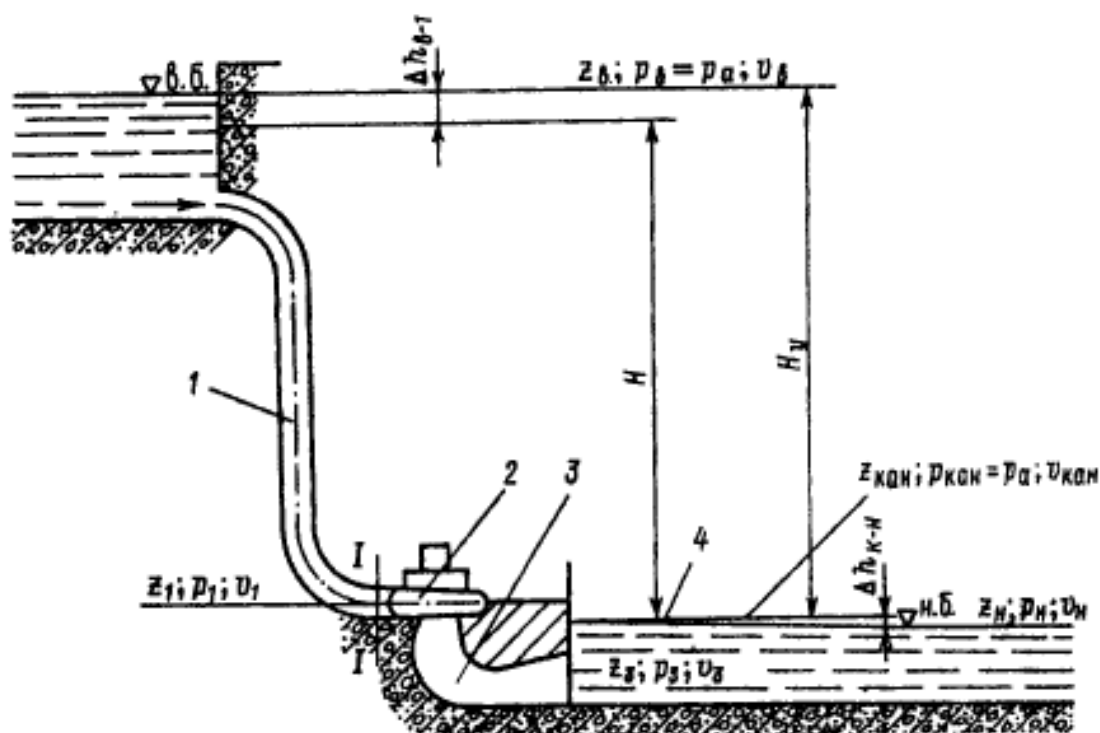


Рисунок 6 – Схема гидротурбинной реактивной установки. 1 - напорный подводный трубопровод (водовод); 2 - турбина; 3 - отсасывающая труба; 4 - отводящий канал.

За преобразованием энергии в такой установке можно проследить, если воспользоваться одним из основных уравнений механики жидкости - уравнением Бернулли. Это уравнение, выражающее постоянство энергии (Е) в потоке, если его члены отнести к единице веса жидкости, можно записать в единицах напора (метрах водяного столба) для любого сечения проточного тракта турбинной установки в виде [4]: $E = v^2/2g + P/\rho + z \text{ const}$. Где v - скорость м/с; P - давление, Па; z - высота над уровнем сравнения, м; ρ - плотность воды кг/м³[4].

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

$$P = F \cdot R \cdot \omega, \quad (32)$$

где F - сила, действующая на лопасть.

Скорость набегающего потока:

$$U_{2c} = 2 \cdot g \cdot H, \text{ м/с}, \quad (33)$$

где H - напор, м.

Радиус колеса

$$R = \frac{1}{2} \cdot U_c / \omega, \text{ м}, \quad (34)$$

Размер лопасти r_l (радиус):

$$r_l = R / (10-12), \text{ м}, \quad (35)$$

Максимальный КПД активных турбин $\eta = 0.9$.

Коэффициент быстроходности

$$\lambda : \lambda = P_1 / 2\omega / (\rho H)^{5/4} = R_l / R \cdot 0,68 (n_i \cdot \eta)^{-1/2}, \quad (36)$$

где n_i - число сопел; ρ - плотность воды.

Угловая скорость ω

$$\omega = \lambda \cdot \rho_1 / 2(g \cdot H)^{5/4} P^{-1/2}, \text{ рад/с}, \quad (37)$$

где P – мощность турбины, Вт.

1.3 Ветроэнергетика

Энергию ветра использовали с древних времен. Раньше всего человек научился делать парусные лодки, двигавшиеся за счет энергии ветра.

В Древней Персии ветроколеса широко применялись для помола зерна. После арабских завоевательных походов эта технология распространилась по всему исламскому миру и даже дошла до Китая.

В Европе ветротурбины появились в XI в. Два века спустя они стали играть важную роль в жизни европейских стран, особенно в Голландии.

В Америке ветроустановки широко использовались при освоении западных территорий для подъема воды из скважин и на лесопилках.

На первом этапе ветроустановки применялись для преобразования кинетической энергии ветра в механическую энергию на валу ветроколеса, которая затем приводила в действие определенные механизмы. Позже ветроустановки стали использоваться и для выработки электроэнергии [2].

Хотя ветер сам по себе несет бесплатную энергию, однако затраты на создание и эксплуатацию ветроустановки таковы, что стоимость вырабатываемой электроэнергии оказывается существенной. Освоение

относительно дешевых технологий использования жидких органических топлив и природного газа тормозило разработки альтернативных источников энергии.

По окончании Второй мировой войны в связи с низкой стоимостью нефти интерес к ветроэнергетике резко упал. И лишь в 1973 г. после разразившегося нефтяного кризиса разработки ветроустановок вновь стали интенсивно вестись во многих странах мира. Бурное развитие разработок стимулировалось государственной поддержкой, налоговыми льготами. Накопленный опыт позволил добиться пятикратного снижения стоимости электроэнергии, вырабатываемой ветроустановками, объединяемыми в так называемые ветровые фермы [2].

Несмотря на то что на сегодняшний день вклад ветроэнергетики в мировой энергетический баланс остается пока небольшим, на практике доказаны ее неоспоримые преимущества перед традиционной энергетикой, прежде всего по следующим показателям:

1) экологическая чистота: ветроустановки не выделяют CO_2 , как это происходит при сжигании топлива;

2) выработавшие свой ресурс ветростанции не представляют опасности, как, например, АЭС;

3) стоимость списания (утилизации) ветротурбин по окончании их эксплуатации гораздо меньше, чем других типов электростанций;

4) земли, отчуждаемые для строительства ветростанций, пригодны для параллельного использования, например, в сельском хозяйстве.

Для объективности следует иметь в виду, что ветротурбины оказывают и некоторое негативное влияние на окружающую среду. Так, вращающиеся лопасти могут представлять некоторую опасность для птиц, имеют место шумовые воздействия и т.п.

Оптимальные размеры ветротурбин уже долгое время являются предметом обсуждения на разных уровнях. Машины большой мощности по своей конструкции и некоторым характеристикам имеют масштабные преимущества, но проигрывают небольшим установкам по технико-экономическим показателям [2].

Другим немаловажным экономическим фактором является сложность самой конструкции турбины. Большие машины имеют более высокую эффективность и требуют меньших затрат на обслуживание, хотя для их возведения и обслуживания необходимо большее количество дополнительного вспомогательного оборудования. Их преимущество состоит и в том, что они занимают гораздо меньшие площади, чем предназначенные для выработки той же мощности малые ветротурбины).

Достоинствами малых ветротурбин являются их сравнительно меньшая масса, а следовательно и стоимость, гибкость при создании ветроферм из большого числа ветротурбин, более высокая надежность всей фермы (выход из строя нескольких агрегатов не оказывает существенного влияния на мощность ветрофермы) и др [2].

В последние годы наблюдается явно выраженная тенденция разработки и использования сетевых ветроустановок все большей единичной мощности. Так если еще в 1996 г. средняя мощность устанавливаемых ветротурбин была на уровне 500-750 кВт, то в настоящее время ветровые электростанции создаются преимущественно из одиночных ветроагрегатов мощностью 1-2 МВт. Ведутся активные разработки ветроустановок единичной мощностью более 5 МВт [2].

Известно четыре основных типа ветротурбин:

- 1) ветротурбины, использующие силу аэродинамического сопротивления;
- 2) ветротурбины, использующие подъемную силу (вертикально-осевые и горизонтально-осевые);
- 3) ветротурбины, использующие эффект Магнуса;
- 4) вихревые ветротурбины.

Сейчас широко применяются только ветротурбины, работающие за счет подъемной силы, действующей на лопасти. Они бывают двух типов: горизонтальноосевые и вертикально-осевые. Более чем 90 % действующих в мире ветротурбин - горизонтально-осевые. Другие типы ветроколес в настоящее время практически нигде не используются.

Ветротурбины, использующие силу аэродинамического сопротивления. В ветротурбинах этого типа ветровой поток оказывает силовое воздействие по направлению своего движения на поверхность лопастей ветро-колеса таким же образом, как ветер действует на парус, заставляя плыть лодку. Из этого можно сделать простой вывод о том, что поверхности, на которые ветровой поток оказывает воздействие, не могут двигаться быстрее самого ветрового потока [2].

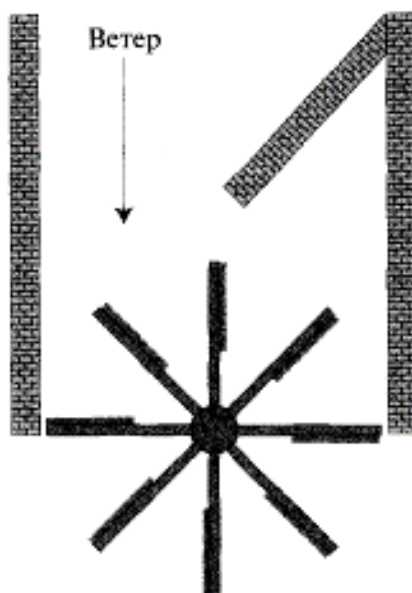


Рисунок 7 – Вид сверху на древнеперсидскую ветротурбину

Первые ветротурбины в Древней Персии были машинами, использовавшими силу аэродинамического сопротивления. На рисунке 7

показана схема такой ветряной мельницы. Она представляла собой конструкцию, в которой на вертикальной оси радиально размещались лопасти – большие плоские натянутые на каркас полотнища. Ветер, воздействуя на эти лопасти, приводил конструкцию в движение. Две стены, установленные по периметру ветроколеса, направляли ветер только на половину лопастей, двигавшихся по потоку, затеняя другую половину лопастей, движущихся в обратном направлении. Одновременно стена служила своеобразным концентратором ветрового потока [2].

Ковшовая ветротурбина (см. рисунок 8) также использует силу аэродинамического сопротивления. Она работает благодаря тому, что выпуклая лопасть создает меньшее аэродинамическое сопротивление потоку, чем вогнутая. Такое устройство можно легко изготовить, разрезав пополам бочку и соединив две половинки так, как показано на рисунке. Но эффективность таких ветроколес крайне низкая.

Повысить эффективность ковшовой машины можно, если раздвинуть ковши, создав между ними небольшой зазор, как показано на рисунке 9. Поток, затекающий внутрь вогнутого ковша, перетекает через щель внутрь выпуклого ковша, создавая там дополнительное давление с внутренней стороны, увеличивая суммарный крутящий момент. Такие ветроколеса называют роторами Савониуса.

Роторы Савониуса по эффективности не могут конкурировать с ветротурбинами, работающими на подъемной силе. Но они имеют очень простую конструкцию, и их можно использовать в качестве анемометров, измеряющих скорость ветрового потока, а также в качестве стартеров для больших ветротурбин [2].



Рисунок 8 – Двухковшовая ветротурбина

Ветротурбины, использующие подъемную силу. В таких машинах ветер, действующий на лопасти, создает силу, перпендикулярную направлению своего движения. Хорошо всем знакомая пропеллерная ветротурбина относится к типу ветротурбин, использующих аэродинамическую подъемную силу. Принцип работы этих машин аналогичен принципу движения парусных судов против ветра за счет аэродинамической подъемной силы. В этом ветровом

потоке сама лодка или в нашем случае лопасти ветроколеса могут двигаться даже со скоростью, превышающей скорость ветра. Такие машины представлены на рисунке 10 [2].

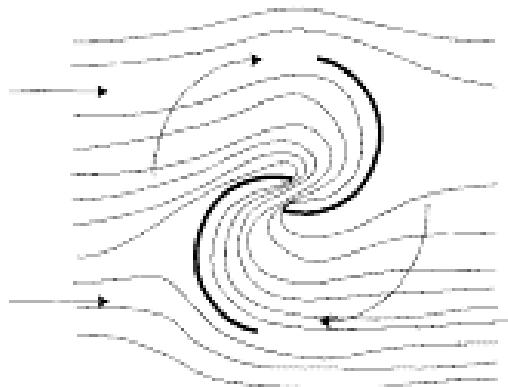


Рисунок 9 – Течение в роторе Савониуса

Заметим, что существуют два способа передачи механической энергии с рабочего вала пропеллерной машины на вал генератора. В первом случае, когда генератор расположен на башне на одной высоте с ветроколесом, момент с вала ветроколеса передается непосредственно на вал генератора через муфту. При необходимости повысить частоту вращения вала устанавливают мультипликатор.

Во втором случае генератор может быть установлен на земле, и момент на него передается с помощью дополнительного длинного вертикального вала. Хотя в первом случае башня и несет на себе большую механическую нагрузку, этот вариант считается предпочтительным, поскольку характеризуется меньшими затратами и в нем отсутствует длинный вал, передающий большую механическую мощность [2].

Существуют два способа установки лопастной системы ветроколеса. В первом случае лопастная система ветроколеса находится перед гондолой и непосредственно «встречает» поток набегающего воздуха. Во втором случае лопастная система ветроколеса устанавливается за гондолой и ветровой поток сначала обтекает гондолу и только затем натекает на лопасти. Практика использования ветротурбин показала, что в первом случае шум, создаваемый машиной, оказывается меньше, чем во втором.

Следует упомянуть, что известно также оригинальное техническое решение, в котором генератор располагается на земле и отсутствует длинный вертикальный вал для передачи на него механической энергии с ротора ветроколеса. Ветроустановка имеет обыкновенные пропеллерные ветроколеса, только последние выполнены полыми внутри и с отверстиями, соединяющими полости с атмосферой на их периферии. При вращении под действием центробежной силы воздух вытекает из лопасти и в полости создается разрежение. Полости специальными трубками соединены с выходом

воздушной турбины, находящейся на земле. При вращении ветроколеса внутри него получается разрежение, передаваемое на выход наземной турбины, что приводит к ее вращению и выработке электроэнергии с помощью подключенного к ней и расположенного также на земле генератора. Ветроурубины такого типа малоэффективны и поэтому не нашли практического применения [2].

Другим типом ветроурубин, которые не только позволяют размещать генератор на земле, но и не требуют ориентации на направление ветра, являются вертикально-осевые ветроурубины. Одна из первых таких ветроурубин была сконструирована фирмой Мак Доннел-Дуглас и называлась «Гиромилл» («Gyromill») - см. рисунке 10 в центре. Ее номинальная мощность 120 кВт [2].

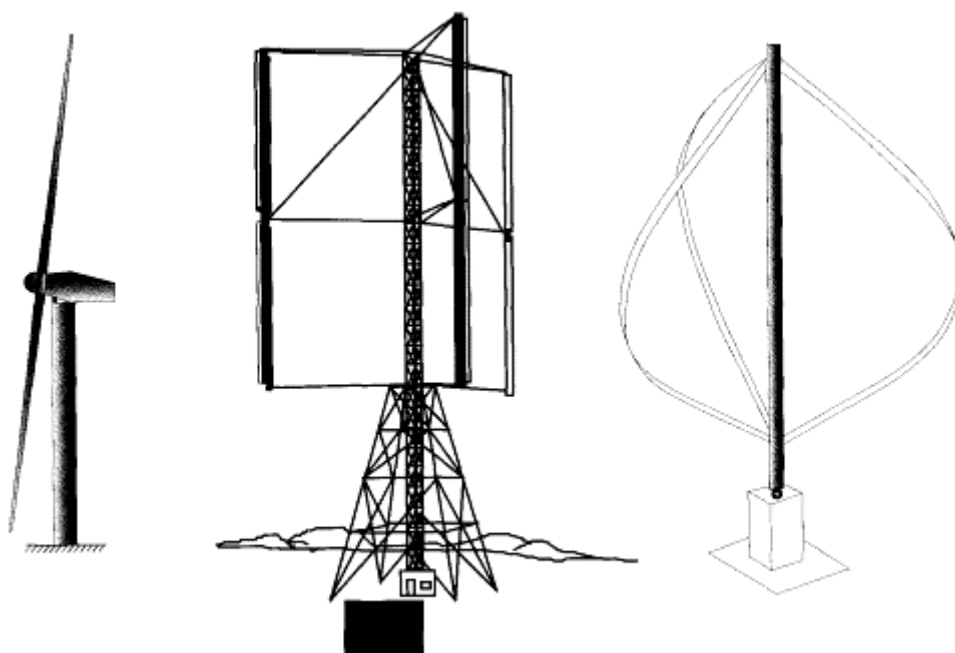


Рисунок 10 — Слева направо: горизонтально-осевая пропеллерная ветроурубина и две вертикально-осевые машины — «Гиромилл» и конструкции Дарье

Один из основных недостатков ветроколес типа «Гиромилл» заключается в том, что под действием центробежных сил лопасти деформируются и создаются большие внутренние напряжения. Элегантное решение проблемы внутренних напряжений, вызываемых центробежными силами, состоит в использовании лопастей специальной формы, которые работают только на растяжение. Автором известной разработки такого вертикально-осевого колеса является французский инженер Дарье. Он применил форму колеса, называемую тропоскейн, которую принимает вращающийся гибкий шнур, прикрепленный к оси вращения обоими концами. Ветроурубины с лопастями формы тропоскейн были в честь своего изобретателя названы роторами Дарье [2].

Ветрогенераторы, использующие эффект Магнуса. Практическое внедрение ветрогенераторов, основанных на эффекте Магнуса, считается малоперспективным. Эффект Магнуса, проявляется, например, когда мы видим кривую траекторию полета закрученного мяча. Вращение летящего в воздухе мяча приводит к несимметричному его обтеканию и появлению некоторой силы, заставляющей мяч двигаться не по прямой, а по изогнутой траектории. Аналогичная ситуация возникает, когда ветровой поток набегает на вертикальный вращающийся цилиндр. При этом результирующая сила перпендикулярна к направлению ветра и может быть использована не только в ветроустановках, но, например, и для обеспечения движения судна [2].

Вихревые ветрогенераторы. Известна еще одна возможность преобразовывать энергию ветра в механическую энергию. Если через узкую тангенциальную щель направить поток воздуха в полый вертикальный цилиндр, то вводимый поток получит закрутку, и под действием центробежных сил возникнет градиент давления по радиусу цилиндра. В центре цилиндра создается разрежение. Это приводит к тому, что воздух начинает принудительно поступать в цилиндр через нижнее отверстие, где установлена воздушная турбина с генератором. Закрученный воздух уходит из цилиндра через верхнее отверстие. Такой вид ветрогенераторов был предложен Груманом (Gruman) и был назван в его честь [2].

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

$$m_1 = \rho \cdot S \cdot V_0, \text{ кг/с} \quad (38)$$

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

S - ометаемая площадь, πR^2 , м^2 ;

V_0 - скорость ветра до ветроколеса, м/с .

Сила, действующая на ветроколесо:

$$F = m_1 \cdot (V_0 - V_2), (\text{кгм/с}^2), \quad (39)$$

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

Скорость ветра V_1 в плоскости ветроколеса:

$$V_1 = \frac{1}{2} \cdot (V_0 + V_2), \text{ м/с.}, \quad (40)$$

Мощность ветрового потока:

$$P_0 = \rho \cdot S \cdot V_0^3 / 2, \text{ Вт.}, \quad (41)$$

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

$$P = m(V_0^2 - V_2^2)/2, \text{ Вт.}, \quad (42)$$

Быстроходность ветроколеса:

$$Z = V_r/V_0 = R \cdot \omega/V_0, \quad (43)$$

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

ω - угловая скорость ветроколеса.

Ветроэнергетические ресурсы. При оценке энергетических ресурсов рассматривают валовой, технический и экономический ресурсы. Валовой (теоретический) потенциал ветровой энергии района – это среднемноголетняя 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 ветроэнергетической 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 , м², в год, представляет валовой потенциал территории W_v , кВт·ч/год, который при удельной энергии ветра $W_{уд}$, кВт·ч/(м² · год), равен:

$$W_v = W_{уд} \cdot S/20 \quad (44)$$

где $S=10^6 \text{ м}^2$;

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 (см. рисунок 11). Площадь под кривой 1 представляет собой годовую удельную энергию ветра, приходящуюся на 1 м² 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 $\varepsilon = 0,593$. На практике коэффициент ε у лучших образцов ВЭУ достигает значений 0,45 – 0,48.

При скоростях ветра ниже минимальной рабочей скорости $V_{\min.p}$ мощности ветроколеса не хватает на преодоление сил трения в узлах ВЭУ. В диапазоне скоростей от $V_{\min.p}$ до расчётной скорости ветра V_p , при которой ВЭУ развивает номинальную мощность N_n , использование энергии ветра осуществляется наиболее полно. При дальнейшем усилении ветра вплоть до максимальной рабочей скорости $V_{\max.p}$, мощность ВЭУ поддерживается на постоянном уровне благодаря работе регулирующих устройств. Доля полезно используемой ветровой энергии при этом снижается. При скоростях выше $V_{\max.p}$ его энергия не используется.

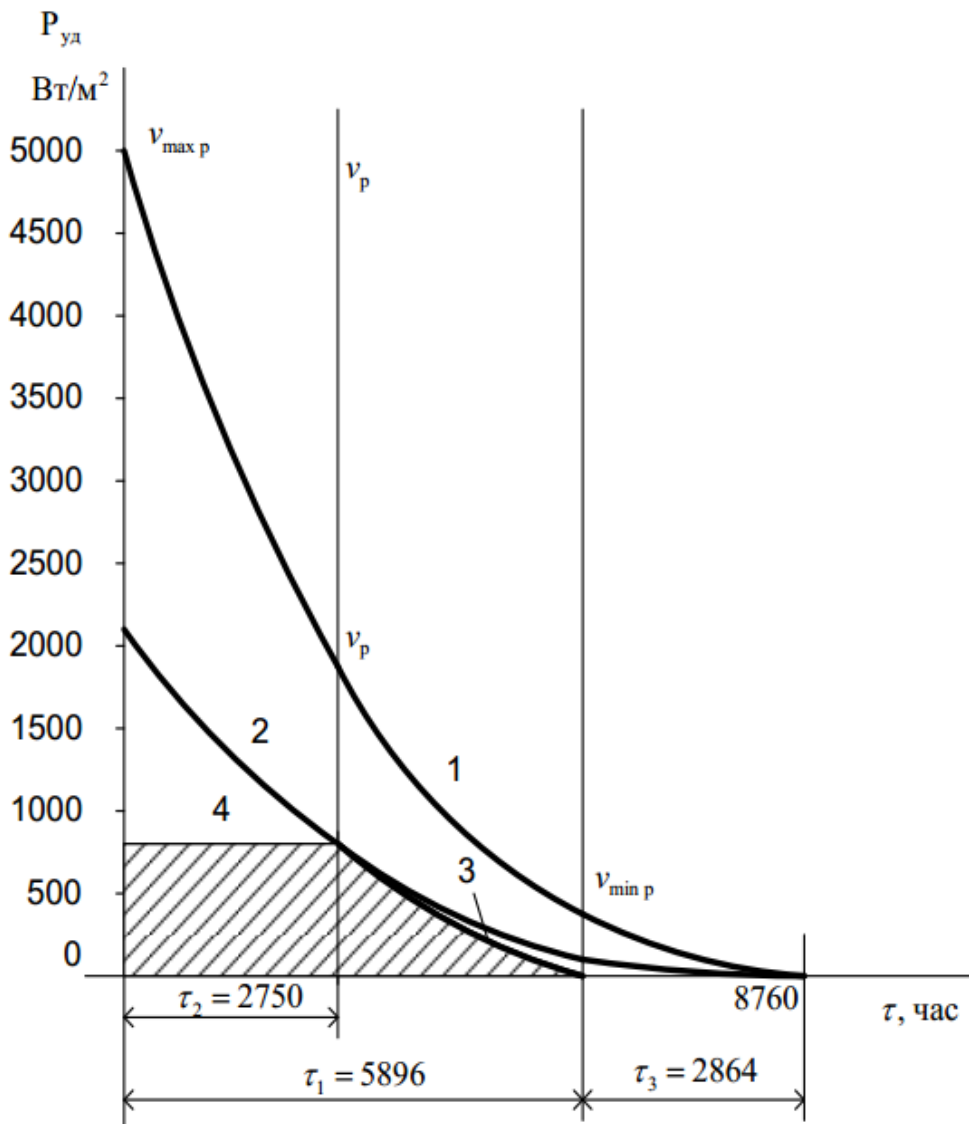


Рисунок 11 – Теоретическое распределение удельной мощности ветра (1), удельной мощности на валу ветроколеса (2) и фактическое распределение удельной мощности ВЭУ (3, 4)

Мощность единичной ВЭУ в кВт определяется выражением:

$$N_0 = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot V_p^3 \cdot \varepsilon \cdot \eta_p \cdot \eta_g, \quad (45)$$

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 км² земной поверхности используется формула:

$$N_1 = N_0 \left[\frac{1000}{10D} \right]^2. \quad (46)$$

где D – диаметр ветроколеса, м.

С учётом (45) будем иметь:

$$N_1 = \frac{\pi}{4} V_p^3 \cdot \varepsilon \cdot \eta_p \cdot \eta_g \quad (47)$$

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

1.4 Биоэнергия

В последние годы значительно возросла заинтересованность к процессам производства биогаза – это проявляется не только в возрастающем количестве планирующихся и строящихся биогазовых установок, но и в заинтересованности все большего числа фермеров, коммунальных хозяйств, предприятий, политиков и частных хозяйств, которые внимательно наблюдают за развитием этого сектора [5].

Энергетическая отрасль уже также не относится с такой осторожностью к децентрализации производства благодаря строительству биогазовых установок. Для пищевой промышленности, гастрономии, больших ресторанов, учреждений общественного питания и предприятий по переработке пищевых отходов технология производства биогаза предоставляет шанс дешевой утилизации органических отходов и остатков продуктов питания в биогазовых установках с пользой для сельского хозяйства. Эта технология завоевывает также все больше сторонников среди людей, лично убедившихся в ее пользе для окружающей среды.

Для фермеров биогазовые технологии приобретают все большего значения с многих причин, о которых подробнее будет сказано далее на страницах этой книги [5].

Мы бы хотели сейчас напомнить лишь две главные причины: используя биогаз на своем предприятии можно не только сэкономить деньги, но и во многих случаях можно также получить дополнительную прибыль на «сельскохозяйственной электроэнергии». В то же время все весомее становятся «побочные продукты» биогазовой технологии; в первую очередь здесь имеется в виду уменьшение эмиссии неприятных запахов от жидкого и твердого навоза, избежание потерь питательных веществ, экономя тем самым на минеральных удобрениях, уменьшение агрессивного влияния на растения при использовании навоза после биогазовой установки на полях, улучшение гомогенных свойств и возможность более легкого смешивания, перекачивания и распределения навоза [5].

Таким образом возрастает спрос на информацию об этой старой и в то же время такой актуальной технологии биологического расщепления без воздуха. Тематические конференции, семинары, учебные поездки пользуются повышенным спросом, как и литература на эту тематику, и соответствующие специалисты.

Вызвана эта ситуация следующими факторами.

После вступления в силу от 14.12.1990 г. «Закона о потреблении и поощрении производства электроэнергии из возобновляемых источников» возникла заинтересованность получать электроэнергию из биогаза, что создает дополнительные преимущества для работы установки в летний период. В данное время поощрение со стороны государства составляет 15,4 пфеннига/кВт (состояние на 1995 г.) и является справедливым для обеих сторон – фермеров и электросетей. На сегодняшний день уже существуют мощные, производящие большое количество электроэнергии установки, в которых используется также избыток тепловой энергии [5].

На биогазе могут работать двигатели мощностью от нескольких десятков кВт до сотен кВт. По сравнению с ними производство тока из древесины, соломы и других видов сухой биомассы имеет смысл лишь на мегаваттных (свыше 1000 кВт) установках с паровыми турбинами.

Сегодня возможно строительство биогазовых установок дешевле и надежнее и таким образом рентабельнее, чем это было раньше. Здесь в первую очередь стоит назвать накопительные биогазовые установки с пленочным покрытием, но также улучшенные проточные и комбинированные установки. Значительного развития пережили также комплектующие к установкам (мешалки, системы отопления, насосы, шнеки).

Наличие значительных наработок в отношении эксплуатации биогазовых установок, а соответственно и большое количество специалистов, занимающихся планированием и строительством установок [5].

С 1992 г. Все чаще практикуется коферментация, то есть переработка органических веществ несельскохозяйственного происхождения с добавлением жидкого или твердого навоза. Такая технология интересна как для фермеров,

так и для пищевой промышленности и народного хозяйства. Это придает новые импульсы использованию технологии и улучшает рентабельность установок.

Улучшение свойств удобрения как одного из побочных эффектов при производстве биогаза. На сегодняшний день можно лучше оценить, даже приумножить и эффективнее использовать.

Анаэробная переработка навоза в биогазовых установках является практически возможной и предотвращает выбросы метана и аммиака при переработке и хранении жидкого и твердого навоза. Фермеры, эксплуатирующие биогазовые установки, одновременно занимаются активной защитой окружающей среды и улучшают несколько подпортившийся в последнее время имидж сельского хозяйства [5].

Мышление в стиле естественного кругооборота питательных веществ на сегодняшний день имеет еще большее значение, нежели еще несколько лет назад, особенно это касается такого вещества как азот (N_2). Биогазовые установки практически полностью препятствуют потерям азота из жидкого и твердого навоза во время переработки.

Биогаз возникает в следствии разложения органической субстанции (в дальнейшем сокращенно - органика) бактериями. Разные группы бактерий разлагают органические субстраты, состоящие преимущественно из воды, белка, жира, углеводов и минеральных веществ на их первичные составляющие – углекислый газ, минералы и воду. Как продукт обмена веществ при этом образовывается смесь газов, получившая название биогаз.

Горючий метан (CH_4) составляет от 5 до 85% и является основным компонентом биогаза, а значит и основным энергосодержащим компонентом.

Такой естественный процесс разложения возможен лишь в анаэробных условиях, то есть только при отсутствии проникновения кислорода. Этот процесс разложения называют также гниением - его можно наблюдать в болтах, озерах, трясинах и т.д. Если в такой среде присутствует кислород, то органику разлагают другие бактерии; в таком случае процесс будет называться компостированием. Другими естественными процессами разложения являются напр. горение, переваривание либо брожение [5].

Энергия, освобождающаяся вследствие анаэробного процесса не теряется как тепло при компостировании, вследствие жизнедеятельности метановых бактерий она превращается в молекулы метана.

Процессы гниения известны очень давно, они уже происходили даже тогда, когда наша атмосфера имела совсем иной состав. Метановые бактерии принадлежат к древнейшим и наиболее приспособленным живым существам на планете Земля. Процессы гниения имеют широкое распространение: в лессе морей, рек и озер («блуждающий огонек») они происходят так само, как и в трясине, болотах, шарах грунта, куда не проникает кислород, на свалках мусора, в навалах навоза, лагунах, отстойниках навоза, на участках выращивания риса и в кале жвачных парнокопытных животных (они вырабатывают около 200 л метана в день). В воде выработка метана

заметно по пузырькам газа, поднимающимся на поверхность. В зависимости от места происхождения, речь может идти о болотном газе, гнилом газе, газе сточных вод, рудном газе, свалочном газе или, как его принято называть в сельском хозяйстве, о биогазе [5].

По большому счету из любой органики в условиях отсутствия кислорода можно добыть биогаз. Бактерии должны лишь иметь достаточное количество времени, чтобы справиться с материалом, который сложно разлагается, каковым могут являться, например одревесневшие растения. Этот процесс целенаправленно используют при очистке сточных вод, чтобы разложить органические соединения вредных веществ. Однако некоторые субстраты оказались наиболее подходящими для такого процесса. Текучие, кашеобразные и вообще субстраты, задерживающие значительное количество воды, наилучшим образом подходят для процесса брожения, поскольку в них можно легко выдержать анаэробные условия, в то время как материал из больших цельных кусков как древесина лучше разлагать компостированием либо иным путем [5].

Газ метан, содержащийся в биогазовой смеси, имеет энергетическую ценность от 10 кВт на м³ (применительно к чистому метану) и является таким же газом, как и природный газ. Если смесь газов переводить в электрический ток с помощью генератора, то при его эффективности напр. 35% с 10 кВт брутто образуется 3,5 кВт электрического тока, который можно непосредственно подавать в сеть электрического питания.

Энергия, полученная из биогаза, принадлежит к возобновляемой, поскольку происходит из органического возобновляемого субстрата. Фактом является то, что ископаемые энергоносители на Земле заканчиваются и существует насущная потребность в альтернативных источниках, что придает еще большего значения производству биогаза на биогазовых установках. Кроме того, энергетическое использование биогаза по сравнению со сжиганием природного газа, сжиженного газа, нефти и угля является нейтральным по отношению к CO₂, поскольку выделяемый CO₂ пребывает в пределах естественного круговорота углерода и потребляется растениями на протяжении вегетационного периода. Таким образом, концентрация CO₂ в атмосфере по сравнению с использованием твердого топлива не увеличивается (см. Рисунок 12) [5].

Однако метан тоже имеет свои недостатки: при попадании в воздух он очень медленно окисляется на двуокись углерода и воду под воздействием солнечных лучей, озона и так званых радикалов (молекулы HO-, быстро вступающие в реакцию). Метан после двуокиси углерода (на 50% вызывает парниковый эффект) является наиболее распространенным загрязнителем воздуха и на 20% вызывает явление парникового эффекта. Кроме того, при окислении он потребляет озон и этим самым делает свой вклад в увеличение озоновой дыры в стратосфере. Газовый факел, при помощи которого в

аварийных случаях сжигают газ до неопасной двуокиси углевода, имеет большое значение также по этой причине.

До периода индустриализации производство метана и его расщепление пребывали в равновесии. Сегодня этот баланс в значительной мере нарушен: при добыче угля, нефти и природного газа выделяется огромное количество несожженного метана в атмосферу. К этому добавляется еще большое количество газа, которое возникает во всем мире от выращивания риса и животноводства. За последние десятилетия это привело к постоянному возрастанию метана в атмосфере Земли. По этой же причине также потребление биогаза в технических целях имеет особое значение, поскольку, таким образом, уменьшается эмиссия метана [5].

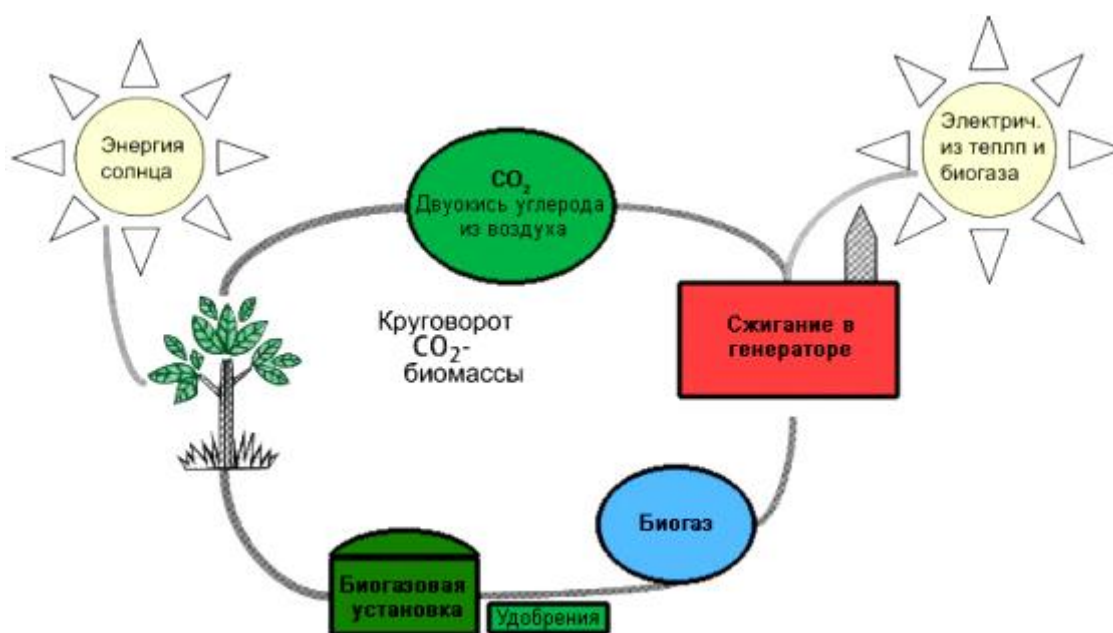


Рисунок 12 – Круговорот двуокиси углерода органики

Первые систематические исследования биогаза начал итальянский естествоиспытатель Аллесандро Вольта, который среди прочего занимался также исследованиями электрического тока и в честь фамилии которого названо единицу измерения электрического напряжения «Вольт». Вольта удалось уловить в 1770 г. болотный газ в отложениях озер на севере Италии, после чего он занялся проведением опытов по сжиганию этого газа. Английский физик Фарадей экспериментировал также с болотным газом и идентифицировал его как углеводород. Только в 1821 г. исследователю Авогадро удалось установить химическую формулу метана (CH₄). Известный французский бактериолог Пастер в 1884 г. проводил испытания с биогазом, который он выделял из твердого навоза. Он впервые предложил использовать навоз с парижских конюшен для производства газа на освещение улиц.

Очень мощный импульс развитию технологии задал процесс открытия анаэробного гниения, после того как в конце 19 века было сделано открытие, что таким образом можно очищать сточные воды. В 1897 г. в больнице для больных проказой г. Бомбей/Индия построили первую установку, газ которой использовали для освещения, а в 1907 г. для питания двигателя на производство электроэнергии.

В Германии инженер с очистных сооружений Имхофф с 1906 г. на территории региона Рур начал систематическое строительство анаэробных, двухъярусных установок по очистке сточных вод, получивших название «эмшерский колодец» (см. Рисунок 13).

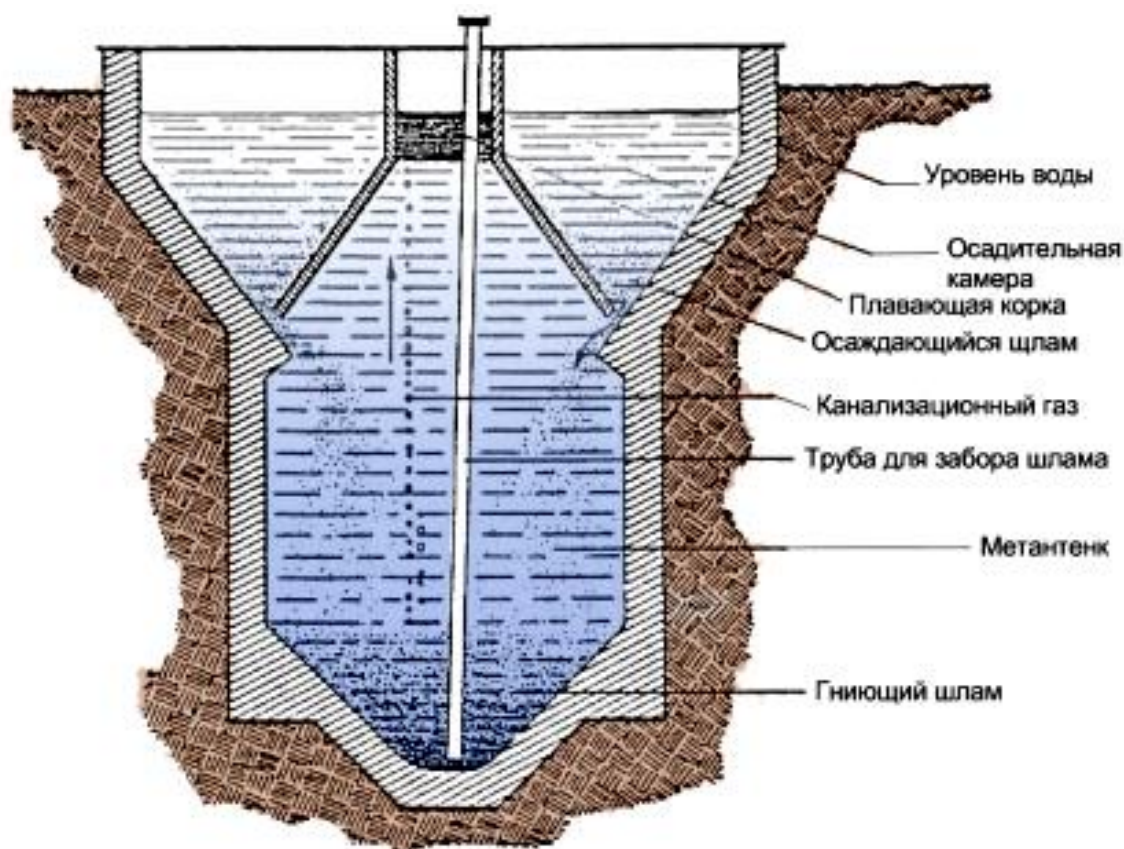


Рисунок 13 – Принцип работы «Эмшерского колодца»

(Название Эмшер вначале имела река, образованная вследствие мелиоративных работ на эмшерских копальнях, но потом во время интенсивного индустриального развития превратилась в сточный канал, обслуживающий большую часть региона.) На сегодняшний день каждое очистное сооружение имеет анаэробные этапы (см. рисунок 14), выработанный канализационный газ от которых используется для отопления ферментаторов или на выработку тепла и электричества [5].

До начала Второй мировой войны использование канализационных газов получило быстрое распространение. Были разработаны плавающие колоколоподобные газгольдеры, мощные мешалки и системы отопления для

ускорения процесса гниения. Продажа очистного газа для предприятий имела большой спрос. В этот период существенного распространения приобрели эксперименты по очистке газа от воды, двуокиси углерода и сероводорода с целью его расфасовки в железные баллоны и использования как топлива для транспортных средств.

Перед Второй мировой войной и на протяжении войны в Германии в связи с возросшим спросом на «газовое топливо» пытались увеличить производство канализационного газа путем добавления твердых органических отходов, то есть применяли метод, называемый сегодня коферментацией. В 1940 г. в г. Штутгарт впервые успешно удалось подмешать отсепарированный жир.



Рисунок 14 – Коммунальная биогазовая установка (анаэробный этап очистного сооружения)

По инициативе Имхоффа в г. Халле проводились эксперименты с отходами лакричного корня, каныгой, лигнином, отходами растений и зерна. Было установлено, что лигнин производит 19 л газа с килограмма сухой массы, канига давала 158 л/кг, а лакричный корень даже 365 л/кг, для последнего, однако период брожения составлял 45 дней. Очень подробные опыты с коферментации проводил д-р. Франц Попель во время войны в Амелсфоорт/Нидерланды. Уже тогда добавляли органические остатки домашнего хозяйства для экспериментов [5].

Расчет биогазовой установки. Возможный энергетический выход установки на биогаз определяется:

$$E = \eta \cdot H_6 \cdot V_6, \quad (48)$$

где η - КПД горелочного устройства = 0,6;

H_6 - удельная объёмная теплота сгорания биогаза = 20 МДж/м³ при парциальном давлении 101000 Па;

V_6 - объём получаемого биогаза.

Объём биогаза определяется из выражения:

$$V_6 = c \cdot m_0, \text{ м}^3/\text{сутки}, \quad (49)$$

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:

$$V_{\text{ж}} = m_0 / \rho_{\text{м}}, \quad (50)$$

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

Объём биогазогенератора

$$V_{\text{г}}: V_{\text{г}} = V_{\text{ж}} \cdot t_{\text{г}}, \quad (51)$$

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 48 для чистого метана, входящего в биогаз, имеет вид:

$$E = \eta \cdot H_6 \cdot V_6 \cdot f_{\text{м}}, \quad (52)$$

где H_6 - удельная теплота сгорания метана при нормальных условиях - 28 МДж/м³;

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

1.5 Аккумуляция тепла

Требование экономии энергетических ресурсов, непосредственно вытекающее из важнейшей народнохозяйственной задачи снижения энергоемкости национального продукта, может быть выполнено двумя путями.

Один из них — это путь повышения эффективности преобразования первичной энергии в электроэнергию и тепло. Сюда относятся повышение КПД электростанций, переход на более дешевые виды топлива, увеличение доли

атомных электростанций и, наконец, использование возобновляемых источников энергии — ветра, геотермальной энергии, приливов, морских волн и т. д. [6].

Второй путь, приобретающий все большее значение, связан с повышением эффективности использования энергии у потребителей — в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве и в быту.

Здесь имеются огромные резервы, использование которых позволяет экономить энергоресурсы зачастую при значительно меньших затратах, чем в процессах получения и преобразования первичной энергии. Установлено, например, что затраты на любые мероприятия по экономии топлива и электроэнергии в 2—3 раза ниже затрат на расширение топливно-энергетической базы. К мероприятиям по повышению эффективности использования энергии у потребителей можно отнести переход на более совершенные и менее энергоемкие технологии, использование вторичных энергетических ресурсов и, наконец, выравнивание временных несоответствий между производимой энергией и потребностями в ней посредством аккумулирования энергии [6].

Известно, что электрическая энергия — самая распространенная основная форма используемой энергии — поддается аккумулированию пока с наибольшим трудом. Емкость электрохимических аккумуляторов не позволяет использовать их в сколь-нибудь крупных масштабах; перспективные крупные сверхпроводящие накопители электроэнергии находятся еще на стадии предварительных проработок.

Гидравлические методы аккумулирования энергии позволяют накопить значительные ее количества, но это связано с большими капиталовложениями и изменениями окружающей среды, не всегда благоприятными. Вместе с тем другие, более простые способы аккумулирования энергии — тепловые, пневматические, термохимические и менее масштабные механические — подробно разработаны и практически проверены в самых различных условиях. Их применение позволяет уже сейчас при относительно небольших затратах получить существенную экономию как непосредственно в энергетических ресурсах, так и косвенно благодаря снижению капитальных затрат на энергетическое оборудование. Это связано с возможностью уменьшения потерь, возникающих в связи с несовпадением по времени пиков и провалов производства и потребления энергии, а также с компенсацией кратковременной неравномерности ее расхода во многих технологических процессах, на транспорте и в быту [6].

Любая система снабжения энергией состоит из источника первичной энергии, подсистемы преобразования энергии и потребителей преобразованной энергии. В системе могут возникнуть несоответствия — как во времени, так и в пространстве — между подачей энергии и потребностями. Преодоление этих несоответствий является основной целью аккумулирования энергии.

Если такие несоответствия вызываются изменениями (более или менее резкими) в потреблении энергии, то это задача снятия пиковой нагрузки, которая может быть решена, по крайней мере частично, с помощью аккумулирования энергии. Установка для аккумулирования энергии может оказаться дешевле пиковой энергетической установки. Кроме того, при ее применении могут быть снижены затраты на топливо (несмотря на некоторые потери в аккумуляторе), так как для зарядки аккумулятора может быть использован избыток энергии от установок базисной нагрузки с низкой стоимостью топлива.

Если несоответствия между подачей и потребностями в энергии обусловлены видом источника первичной энергии и установки для преобразования энергии, то задача аккумулирующей установки состоит в выравнивании выработки энергии путем срезания пиков и заполнения провалов выработки. Известно, что мощность некоторых первичных источников энергии подвержена периодическим (солнечные энергетические установки и гидроаккумулирующие электростанции) или случайным (ветро-, гидро- и солнечные энергетические установки) изменениям [6].

К другим задачам аккумулирования энергии относятся:

- обеспечение резерва в случае внезапного прекращения работы установок, особенно на период запуска резервных установок;
- регулирование или буферное аккумулирование при высоких амплитудах изменения нагрузки, что позволяет покрывать нагрузку при небольших градиентах изменения мощности первичного источника энергии;
- аккумулирование энергии вблизи мест ее потребления с тем, чтобы уменьшить пики нагрузки и стоимость системы энергоснабжения не только в части преобразования энергии, но также в распределительной сети.

На рисунке 15 показаны типичные элементы систем энергоснабжения с преобразованием энергии.

В системе теплоснабжения (А) энергия аккумулируется в виде тепла; аккумулятор тепла может быть расположен непосредственно у теплопроизводящей установки, в конце протяженного теплопровода (перед подсистемой распределения) или у потребителя тепла. Теплопроводы сами по себе являются теплоаккумулирующей системой значительной емкости. В системе электроснабжения (В) аккумулирование энергии может быть осуществлено в пределах электростанции (централизованное аккумулирование); аккумулятор может быть также присоединен в каком-то месте к энергосистеме или даже может находиться у потребителя (после счетчика). Электрическая часть системы практически не обладает аккумулирующей емкостью [6].

Централизованное аккумулирование в системе электроснабжения может быть тепловым или механическим; децентрализованное аккумулирование может быть как тепловым, осуществляемым закачкой теплоносителя, так и пневматическим или гидравлическим; кроме того, оно может осуществляться

непосредственным аккумулированием электрической энергии с помощью электрохимических и электромагнитных аккумуляторов или электрических конденсаторов. Аккумулирование энергии у потребителя может быть тепловым, электрохимическим или механическим.

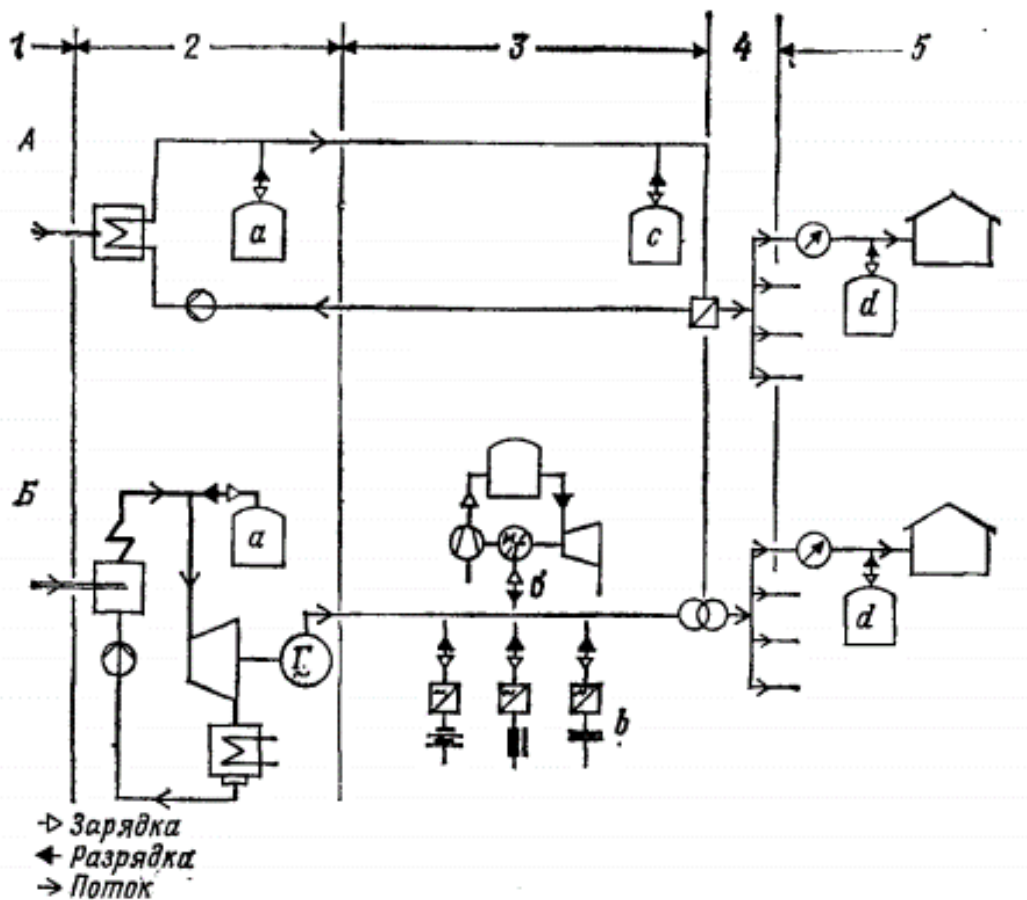


Рисунок 15 – Системы энергоснабжения с преобразованием энергии. А - система теплоснабжения; В - система электроснабжения. 1 -первичный источник энергии; 2 - подсистема преобразования энергии; 3 - подсистема передачи преобразованной энергии; 4 - распределительная сеть; 5 -потребитель преобразованной энергии. а - центральный аккумулятор; б - аккумулятор в энергосистеме; с - аккумулятор перед распределительной сетью; d - аккумулятор после счетчика.

Полная оценка установки аккумулирования энергии включает не только экономическое сравнение различных возможных систем аккумуляторов и пиковых установок, но и оптимизацию подсистем аккумулирования в системе энергоснабжения. Иногда такие совсем не экономические факторы, как маневренность, удобство применения, эксплуатационные достоинства, будут определяющими при выборе тех или иных аккумулирующих установок.

Следует отметить, что при оптимизации аккумулирующей установки необходимо обладать подробными сведениями о потреблении энергии и его изменении во времени и проявить даже больше осмотрительности, чем при

оптимизации чисто преобразовательной установки без аккумулятора. При оптимизации аккумулирующих установок должны быть выбраны не только мощность разрядки, но и такие параметры, как емкость аккумулятора и мощность зарядки. Если типичные случаи поддаются обычным методам расчета, то некоторые частные случаи таковы, что каждое проектное решение должно быть проанализировано особым методом.

Капитальные затраты на теплоаккумулирующую установку имеют составляющую, которая зависит от ее емкости, и составляющие, которые зависят от мощности (зарядки и разрядки) [6].

От емкости зависят затраты на такие элементы установки, как: .

- сосуд-аккумулятор с обмуровкой, теплоизоляция, опорные конструкции и т. д.;

- аккумулирующая среда.

От мощности разрядки зависят затраты на:

- оборудование на внешней и внутренней сторонах аккумулятора, регулирующее процесс разрядки;

- трубопроводы разрядки;

- расширительную машину (турбину) и генератор (или дополнительное оборудование к основной машине);

- систему распределения тепла (или дополнительное оборудование к основной системе).

От мощности зарядки зависят затраты на:

- оборудование на внешней и внутренней сторонах аккумулятора, регулирующее процесс зарядки;

- трубопроводы зарядки;

- компрессор и двигатель (только для аккумуляторов сжатых газов).

Другие статьи затрат, такие, как расходы на сооружения, фундаменты, контрольно-измерительные приборы, монтаж и пр., трудно разнести по приведенным выше категориям [6].

Требуемое количество тепла Q , запасённого в аккумуляторе:

$$Q = \Pi \cdot n \cdot \tau \cdot Z, \text{ МДж}, \quad (53)$$

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:

$$V = Q / (\rho \cdot c \cdot \Delta T), \text{ м}^3, \quad (54)$$

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:

$$h = V/A, \text{ м}, \quad (55)$$

где V – объём, м³;

A – площадь, м².

Термическое сопротивление R между аккумулятором и окружающей средой:

$$R = (\tau \text{ сек.}) / (1,3 \cdot V \text{ м}^3 \cdot \rho_t), \quad (56)$$

Удельное термическое сопротивление:

$$r = R \cdot A, \text{ м}^2 \text{ К/Вт}, \quad (57)$$

Толщина покрытия d на верхней крышке ёмкости:

$$d = r \cdot \lambda, \text{ м}, \quad (58)$$

где λ - коэффициент теплопроводности изоляционного материала, пенополистирол, $\lambda = 0,04$ Вт/(м·К) Плотность энергии q , запасённой в аккумуляторе:

$$q = Q/V, \text{ МДж/м}^3, \quad (59)$$

1.6 Механическое аккумулирование

Механическим накопителем (МН), или аккумулятором механической энергии, называется устройство для запасания и хранения кинетической или потенциальной энергии с последующей отдачей ее для совершения полезной работы [7].

Как и для любого вида накопителей энергии (НЭ), характерными режимами работы МН являются заряд (накопление) и разряд (отдача энергии). Хранение энергии служит промежуточным режимом МН. В зарядном режиме к МН подводится механическая энергия от внешнего источника, причем конкретная техническая реализация источника энергии определяется типом МН. При разряде МН основная часть запасенной им энергии передается потребителю. Некоторая часть накопленной энергии расходуется на компенсацию потерь, имеющих место в разрядном режиме, а в большинстве видов МН — и в режимах хранения.

Поскольку в ряде накопительных установок время заряда может намного превосходить время разряда ($t_z \gg t_p$), то возможно существенное превышение среднеразрядной мощности P_p над средней мощностью P_z заряда МН. Таким образом, в МН накапливать энергию допустимо с помощью сравнительно маломощных источников [7].

Основные разновидности МН подразделяются на статические, динамические и комбинированные устройства.

Статические механические накопители запасают потенциальную энергию посредством упругого изменения формы или объема рабочего тела либо при его перемещении против направления силы тяжести в гравитационном поле. Твердое, жидкостное или газообразное рабочее тело этих МН имеет статическое состояние в режиме хранения энергии, а заряд и разряд НЭ сопровождаются движением рабочего тела.

Динамические МН аккумулируют кинетическую энергию преимущественно во вращающихся массах твердых тел. Условно к динамическим МН можно отнести также накопительные устройства ускорителей заряженных элементарных частиц, в которых запасается кинетическая энергия электронов или протонов, циклически движущихся по замкнутым траекториям [7].

Комбинированные МН запасают одновременно кинетическую и потенциальную энергию. Примером комбинированного МН может служить супермаховик из высокопрочного волокнистого материала, имеющего относительно малый модуль упругости. При вращении данного МН в нем наряду с кинетической энергией запасается потенциальная энергия упругой деформации. При извлечении накопленной энергии из такого МН достигается использование обоих ее видов.

По уровню удельной накопленной энергии, приходящейся на единицу массы или объема аккумулирующего элемента, динамические инерционные МП существенно превосходят некоторые другие разновидности НЭ (например, индуктивные и емкостные накопители). Поэтому МН представляют большой практический интерес для многообразных применений в различных отраслях техники и научных исследований.

Отдельные виды МН нашли к настоящему времени крупномасштабное применение в электроэнергетике, например гидроаккумулирующие установки электрических станций. Зарядно-разрядный цикл их работы достигает десятков часов [7].

Для инерционных МН характерны кратковременные разрядные режимы. Отбор энергии от МН сопровождается уменьшением угловой скорости маховика до допустимого уровня. В отдельных случаях торможение может происходить вплоть до полной остановки маховика. Возможны «ударные» разряды, отличающиеся одноразовым или циклическим отбором запасенной энергии, причем вследствие большого кинетического момента и малого времени разряда МН снижение угловой скорости его ротора относительно

невелико, хотя отдаваемая мощность может достигать достаточно высоких значений. В таком режиме МН особые требования предъявляются к обеспечению прочности вала. Под воздействием крутящего момента в вале возникают опасные касательные напряжения, часть кинетической энергии ротора переходит в потенциальную энергию упругих деформаций кручения вала. Для преодоления указанных затруднений в отдельных конструкциях МН предусматриваются упругие или фрикционные муфты [7].

Статические МН сохраняют запасенную энергию, находясь в неподвижном состоянии. Носителями потенциальной энергии в них служат упруго деформированные твердые тела или сжатые газы, находящиеся под избыточным давлением, а также массы, поднятые на высоту относительно земной поверхности. Типичными примерами статических МН являются: растянутые или сжатые пружины, резины; газобаллонные аккумуляторы и пневмоаккумуляторы; ударные устройства различных копров, например для забивания свай, использующие энергию масс в поднятом состоянии; водохранилища гидроаккумулирующих электростанций, баки водонапорных установок [7].

Пружинные накопители. Наиболее распространенный тип механизмов с МН, предназначенных для различных технических и бытовых устройств, содержит МН со спиральной пружиной. Пружинный МН обычно применяется в механизмах совместно с зубчатым редуктором и балансиром-регулятором, поддерживающим постоянную частоту вращения вала редуктора в режиме разряда МН. Принципиальная схема простого пружинного МН показана на рисунке 16,а. Выполненная из плоской стальной ленты пружина при изготовлении закаливается и затем подвергается заневоливанию (эта технологическая операция состоит в наворачивании пружины на вал и выдерживании в закрученном состоянии в течение 100 ч для стабилизации упругих свойств). В механизме упругая стальная лента работает на изгиб, ближайшие к валу витки спирали напряжены сильнее, чем периферийные, которые накапливают относительно мало потенциальной энергии. Для более равномерного распределения запаса механической энергии и улучшения использования упругих свойств пружины целесообразно придавать ей двоякоизогнутую S-образную форму (см. рисунок 16,б) [7].

Повышение удельной энергии пружинных МН достигается приданием их упругой ленте желобчатого профиля. Такая лента испытывает при навивке изгибную деформацию в продольном и поперечном направлениях. Пружины со спиралью S-образной формы из желобчатой ленты обеспечивают постоянство вращающего момента на валу редуктора при разряде НЭ [4.2].

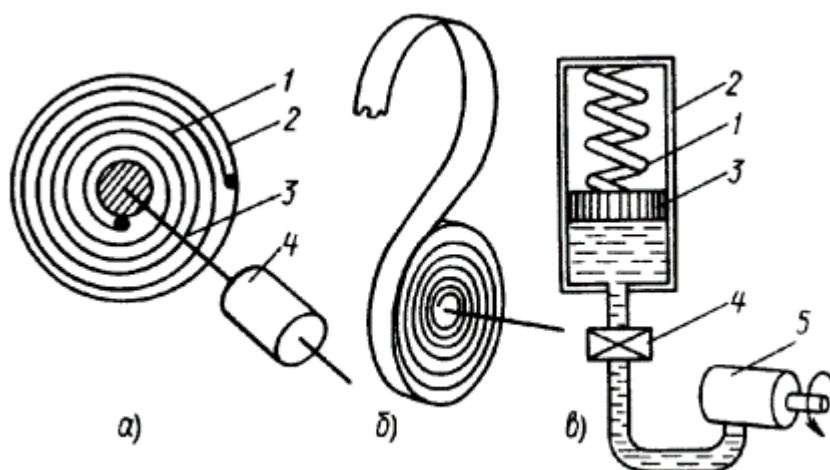


Рисунок 16 – Пружинные накопители: а - схема НЭ со спиральной пружиной (1 - пружина, 2 - корпус, 3 - вал, 4 - редуктор): б - пружина S-образной формы; в - совмещенная компоновка пружинного НЭ и гидравлического устройства (1 - винтовая пружина, 2 - корпус, 3 - поршень, 4 – вентиль, 5 - гидромашина).

КПД пружинных МН в зарядно-разрядном цикле превышает 0,9. Удельная энергия этих МН сравнительно невелика: для единицы объема материала пружины (стали) $w_{уд.0} \approx 1600 \text{ кДж/м}^3$, для единицы массы ее материала $w_{уд.} \approx 0,21 \text{ кДж/кг}$. Применительно к МН в целом удельная энергия получается меньше, чем непосредственно для пружины. Пружинные МН энергетически эффективны при малых мощностях на валу. С увеличением мощности существенно возрастает относительная доля объема и массы редуктора и регулятора в устройстве МН [7].

На рисунке 16, в показана принципиальная схема МН, содержащего винтовую цилиндрическую пружину и гидравлическое устройство. При подобной компоновке МН удельные показатели $W_{уд0}$ и $W_{уд}$ получаются несколько лучше, чем у собственно пружинных устройств. Гидромашина (см. рисунок 16, в) работает в обратимых режимах: при заряде МН — как компрессор для закачивания масла и сжатия пружины, при разряде — как гидромотор, вращающийся за счет использования запасенной энергии. Удельную энергию винтовой пружины можно существенно увеличить, если снизить массу пружины, выполнив ее из тонкостенной трубки. В проволоочной пружине средние слои материала работают на кручение и практически бесполезны для накопления упругой энергии. Однако технологически изготовить трубчатые пружины сложнее, чем проволоочные [7].

Кинетическая энергия вращающегося тела E равна:

$$E = I \cdot \omega^2 / 2, \quad (60)$$

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

Для однородного диска момент инерции равен:

$$I = m \cdot a^2, \quad (61)$$

где m - масса диска;

a - радиус диска.

Плотность энергии, запасаемой однородным диском:

$$W_m = E/m = a^2 \cdot \omega^2 / 2, \quad (62)$$

Время между зарядками маховика:

$$t = E/P, \text{ с}, \quad (63)$$

где - E (Дж), P (Дж/с).

1.7 Опреснение воды.

Технологические достоинства процесса термической дистилляции определили преимущественное использование опреснителей этого типа при производстве пресной воды в больших масштабах [8]. Их доля в общем процессе опреснения наибольшая, так как по принципу действия и конструктивному исполнению они отличаются наибольшей простотой изготовления. Качество получаемой воды соответствует медико-биологическим требованиям. Отсутствие сложного оборудования позволяет обеспечить высокую надежность в эксплуатации и автоматизации рабочих процессов. Вносимые изменения в конструкции отдельных элементов опреснительной установки способствуют постоянному снижению стоимости получаемой воды [8].

Это достигнуто благодаря созданию новых агрегатно-технологических схем, которые характеризуются минимальными расходами теплоты, поступающей в цикл, высокой интенсивностью рабочего процесса за счет организации принципиально новых способов подачи опресняемой воды на поверхности нагрева, повышением верхнего предела температуры нагрева поступающей воды при одновременном исключении накинеобразования, более значительной кратностью концентрирования.

Классификация современных дистилляционных опреснительных установок может быть проведена по следующим основным признакам:

1) принципу действия — испарительные, мгновенного вскипания, пленочным способом организации течения опресняемой воды, с промежуточным теплоносителем, с кипением в псевдоожигенном слое;

2) гидродинамике режима — с естественной и принудительной циркуляцией исходной воды;

3) способу использования теплоты вторичного пара — с регенерацией и без нее, парокомпрессионные;

4) роду теплоносителей, обогревающих поверхности, — с паровым, газовым и электрическим обогревом, а также нагревом жидкометаллическими, масляными, гидрофобными средами и нагретыми механическими телами;

5) конструктивному исполнению — трубчатые, пластинчатые, с ребристой волнистой и желобчатой поверхностями; вертикальные, горизонтальные, одно- и многоступенчатые, однорядные и многорядные, башенного типа;

6) способу контакта поверхности нагрева с жидкостью — погруженными в большой объем с полностью заполненными водой трубами и пленочным ее омыванием; струйно-ударными, гравитационными, центробежными и с завихренными потоками.

Стремление создать установки с термическим способом получения пресной воды из морской привело к разработке оригинальных принципиальных и конструктивных схем, отличающихся высокой эффективностью [8, 9]. При этом основное внимание уделяется вопросам значительной интенсификации рабочих режимов, замене дорогостоящих конструкционных материалов, трубных поверхностей другими конфигурациями нагревателей, снижению накипеобразования при одновременном увеличении начальной температуры нагрева опресняемой воды, уменьшению расходов тепловой и электрической энергии на получение конечного продукта, достигаемым использованием низкопотенциальной и сбросной теплоты. Строительство крупных дистилляционных установок прежде всего связывают с энергообеспечивающим источником, что определяет стоимость воды, получаемой в процессе опреснения. Это привело к сооружению установок, работающих по одноцелевому и многоцелевому принципам.

В последнем случае установка оценивается не только как производитель пресной воды, но и как элемент в общей системе энергообеспечивающей схемы, где вырабатывается электроэнергия, теплота, вода и химическая продукция при переработке сбрасываемых рассолов высокой концентрации. Такой подход позволяет снизить удельный расход первичной энергии на производство электроэнергии в 1,5 раза и на опреснение в 2 раза при одновременном росте термодинамического КПД [10].

Эффективность установок термической дистилляции возрастает при объединении их с атомными станциями. Это достигается за счет отбора избытков тепловой энергии реактора на процесс опреснения при снижении энергетической нагрузки при одновременном накоплении воды, что обеспечивает равномерный график расхода энергии. В современной технологии опреснения дистилляционные опреснительные установки играют основную роль, так как производят примерно 76% общего количества пресной воды, а

число их превысило 1000. Резкий рост производительности, уменьшение расхода теплоты до 230 на одоцелевых и 140 МДж/м³ на двухцелевых установках, разработка эффективных способов подготовки исходной воды, поступающей на опреснение,— вот те причины, которые позволяют занимать им ведущее место [8].

На основе принципа мгновенного вскипания японскими фирмами в Аль-Джубайл (Саудовская Аравия) закончено в 1984 г. сооружение крупнейшего в мире опреснительного завода, состоящего из 40 установок производительностью 23 690 м³/сут каждая, что обеспечит получение почти 945 тыс. м³/сут пресной воды. В Доха Вест (Кувейт) в 1985 г. построена станция, единичная мощность каждой из 12 установок составляет 32 800 м³/сут.

Высокой степени автоматизации с привлечением ЭВМ достигли итальянские специалисты для установки в Порто-Торрес, производящей 26 000 м³/сут воды [8].

Установка большой мощности работает в Сянгане (Гонконг), на которой вырабатывается 182 тыс. м³/сут агрегатами производительностью 30 340 м³/сут. [11]. Резко возросла единичная мощность тонкопленочных опреснительных установок. Так, фирма «Бавекс» (ФРГ) ввела в эксплуатацию вертикально-пленочную установку на 10 000 м³/сут., состоящую из 75 ступеней, смонтированную на площади 20 м² при высоте 35 м. Горизонтально-пленочная установка на 20 000 м³/сут. опресненной воды построена в Израиле.

При возведении дистилляционных опреснительных установок с большой производительностью встает проблема занимаемых площадей из-за развитого количества ступеней и общего удорожания строительства. Проведенные Д. Барбой расчеты показали, что с увеличением производительности одной установки достигается сокращение капитальных затрат на 20 – 27%.

Определяющими типами опреснительных установок термической дистилляции необходимо признать схемы мгновенного вскипания и тонкопленочного типа. В практике отечественных разработок, выполняемых Свердловским химмашем, эти технологические схемы находят все большее применение. Так, единичная производительность отечественных опреснителей мгновенного вскипания достигла 15, 20 и даже 27 тыс. м³/сут, а для тонкопленочных — 15 тыс. м³/сут [8].

Перспективы развития техники опреснения морской воды позволяют сделать вывод, что производство пресной воды в больших масштабах сохранится на ближайшие десятилетия за термическим способом, который дает возможность довести стоимость получаемой воды до 1,7—2,8 тенге на 1 м³.

Наиболее распространенным типом опреснительных установок остаются установки, работающие по принципу мгновенного вскипания, доля которых в общем балансе вырабатываемой пресной воды наибольшая. Это определяется прежде всего тем, что эксплуатационные характеристики и достигаемая для них производительность сегодня недоступны другому типу установок, хотя их энергетическая эффективность ниже, чем у тонкопленочных. Процесс

парообразования в такой технологической схеме протекает в свободном пространстве испарительной камеры за счет разности давлений исходной воды, подаваемой в камеру, и давления в ней. Мгновенное вскипание воды способствует значительному выходу образующегося пара, что позволяет при конструировании установки по многоступенчатому принципу произвести практически любые заданные при проектировании количества пресной воды [8].

В современных схемах число ступеней в установках такого типа колеблется от минимального, равного 4, до максимального, составляющего 50 ступеней. Предел изменения производительности от 100 до 100 тыс. м³/сут. в 1 агрегате. Важную роль при создании опреснительных установок мгновенного вскипания играет выбор энергетического источника, оказывающий большое влияние на конечную стоимость пресной воды. В качестве таких источников, располагающих достаточным количеством тепловой энергии, используют энергетические котлы, паровые и газовые турбины, электрические станции, двигатели внутреннего сгорания, энергию солнца, тепловую энергию атомных станций. Все большее значение приобретают комбинированные системы по производству пресной воды из морской, сочетающие технологию термического опреснения с установками обратного осмоса. Выбор оптимального варианта схемы термической опреснительной установки определяется целевым ее назначением [8].

Для современных условий рационального использования природных ресурсов наиболее целесообразно многоцелевое использование, когда одновременно с выработкой воды, как отмечается выше, установка функционирует в составе тепловой схемы станции, работающей на органическом или атомном топливе, и обеспечивающей получение воды, теплоты, электроэнергии и побочных продуктов за счет переработки по безотходной технологии концентрированных рассолов [8].

При оценке в потребностях получения пресной воды при региональном строительстве опреснительной установки большой производительности необходимо учитывать социально-экономическое развитие региона и долю в нем индустрии, сельского хозяйства, строительства, рост жизненного уровня, вызывающий резкое возрастание водопотребления [8].

Если принять величину потребления воды в рассматриваемом интервале лет N за G, то

$$\bar{G} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G_i \quad \text{и} \quad \bar{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i \quad (64)$$

где n – количество лет в планируемом периоде.

При предполагаемых по годам потребностях в воде можно построить график (см. Рисунок 17), усредняющая прямая которого описывается уравнением $G = a + bN$. Коэффициенты a и b на основе метода наименьших квадратов находятся по формуле $a = G - bN$,

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N}) (G_i - G')}{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2} \quad (65)$$

Такая методика позволяет дать оценку перспективной потребности в воде и выборе соответствующей производительности опреснительной установки как воспроизводящей ее части.

При проектировании очень важно сделать предварительную оценку капитальных затрат на всю энергетическую установку, работающую совместно с опреснительной [8].

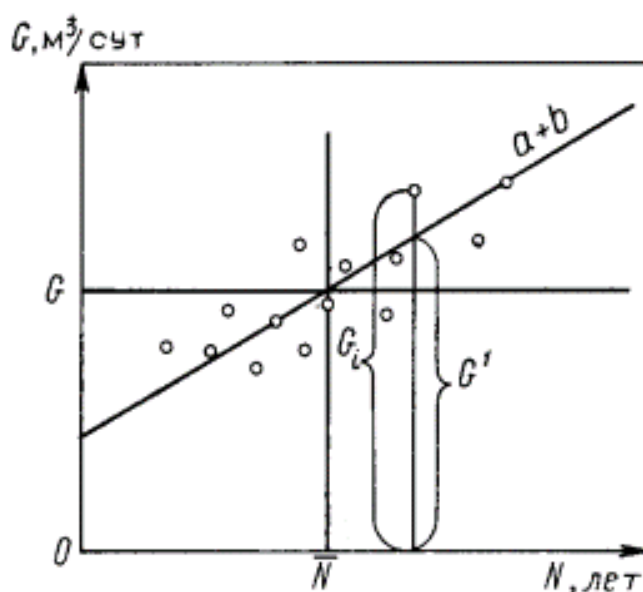


Рисунок 17 – Диаграмма оценки потребности воды

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 (см рисунок 18). 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 q и $T_v q_k q$ и s расходуется на испарение.

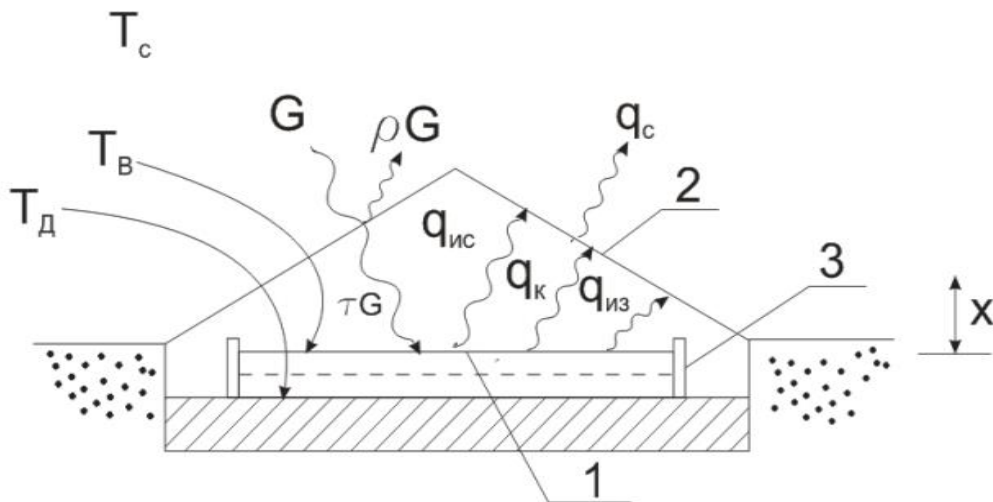


Рисунок 18 – Потоки тепла в солнечном дистилляторе. Обозначения: д - основание; и - испарение; к - конвекция; из - излучение; в - вода; с - окружающая среда; 1- нагретая поверхность; 2- холодная стенка; 3- жёлоб.

Тепловой баланс для единицы поверхности воды определится:

$$m \cdot c \cdot dT_v / dt = \alpha_v \cdot \tau \cdot G - q_v - q_i - q_k - q_{ис}, \quad (66)$$

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

Удельный радиационный поток определится:

$$q_{и} = 4\sigma_v [(T_v + T_d)/2]^3 \cdot (T_v - T_d), \quad (67)$$

где T_d – температура крышки;

σ_v – постоянная Стефана – Больцмана.

Конвективный тепловой поток запишем в виде:

$$q_k = k \cdot (T_v - T_d), \quad (68)$$

где k – коэффициент теплопередачи $Вт/(м^2 \cdot К)$.

Результирующий тепловой поток на единицу площади:

$$q_k = 2 \cdot \rho \cdot c \cdot (Q/A) \cdot \Delta T \quad (69)$$

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:

$$W = m'/A = 2 \cdot (Q/A) \Delta \chi = h_k \cdot \rho \cdot l \cdot c \cdot \Delta \chi, \quad (70)$$

где χ – концентрация пара.

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

$$q_T = W \cdot r, \quad (71)$$

где r – удельная теплота парообразования воды. Для дистиллятора, показанного на рисунке 18:

$$q_T = k \cdot r \cdot \rho \cdot l \cdot c \cdot [\chi(T_B) - \chi(T_D)]. \quad (72)$$

Для размера x :

$$k = Nu \cdot \lambda / x \quad (73)$$

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

Nu – число Нуссельта

$$k = 0,062 (x / \lambda) Ra^{1/3}, \quad (74)$$

где Ra – число Рэлея

$$Ra = g \cdot \beta \cdot x^3 (T_B - T_D) \lambda^{-1} \nu^{-1} \quad (75)$$

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.

1.8 Геотермальная энергия

Использование человеком природных геотермальных вод для обогрева восходит к доисторическим временам. И тем не менее лишь в последние годы оно приняло широкий размах, особенно в Исландии, Венгрии и СССР. Впервые промышленное использование природного пара в больших масштабах началось в 1904 г. в Италии, в Лардерелло, где с помощью подземного пара вырабатывается электроэнергия. Освоение геотермального региона в Уайракее (Новая Зеландия), где Используется образующийся при вскипании пар, началось приблизительно в 1950 г. В США промышленное производство электроэнергии осуществляется только на геотермальной электростанции (ГеоТЭС) "Большие Гейзеры" (шт. Калифорния). Первый энергоблок был введен в эксплуатацию в 1960 г., а к концу 1977 г. действовало уже 15 таких энергоблоков.

Большая геотермальная электростанция на перегретой воде работает с 1973 г. в Серро-Прието в северо-западной части Мексики. Небольшие ГеоТЭС имеются в Патэ в Мексике, а также в Италии, Японии, СССР, Новой Зеландии, Исландии и других странах. В мае 1973 г. общая установленная мощность ГеоТЭС мира не превышала 800 МВт, т.е. была меньше мощности одной большой тепловой или атомной электростанции. По уже в 1975 г. их общая мощность достигала 300 МВт (см. таблица 2). Почти на всех этих электростанциях используется сухой природный пар или влажный пар, образующийся при вскипании перегретой воды [12].

Таблица 2 – Мощности ГеоТЭС

Страна	Область, город, поселок	Мощность действующих ГеоТЭС, МВт		Ожидаемая мощность ГеоТЭС в 1977г., МВт
		1972 г.	1975 Г.	
1	2	3	4	5
США	Долина Больших			
	Гейзеров	192	502	718
Италия	Лардерелло	358,6	380,8	
	Травапе		15	
	Монте-Амиата	25,5	22	
Новая Зеландия	Уайракей	160	192	
	Каверву	10	10	
	Бродпендс			150
Мексика	Серро-Прието		75	140
	Патэ	3,5	3,5	
Япония	Мацукава	22	20	
	Отаке	13	13	
	Онума		10	
	Оникобе		25	

Продолжение таблицы 2

	Хачобару			50
	Такиноуэ			50
СССР	Паужетка	5	5	
	Паратунка	0,7	0,7	
Исландия	Намафьндль	2,5	2,5	
	Крафпа			55
Турция	Кизильдер		0.5	3
Филиппины	Тиви			100
Сальвадор	Ауачапан		30	60
Всего		792,8	1306,8	

В настоящее время во многих странах мира проводятся интенсивные изыскания и освоение новых месторождений природного пара и перегретой воды. Они представляют несомненный интерес как экономически выгодные источники энергии. Однако маловероятно, что будет обнаружено много таких месторождений или что некоторые из них будут превосходить уже известные месторождения. Поэтому можно предположить, что при современном уровне техники геотермальные источники энергии никогда не смогут удовлетворить значительную часть общей потребности в энергии как отдельных стран, так и всего мира. Предполагается, что к 1980 г. мощность всех ГеоТЭС мира достигнет 2500 МВт, что составит менее 1% общей мощности всех электростанций [13]. Если, однако, предположить, что при существующем уровне техники будут развиваться новые виды разработок геотермальной энергии или что сама техника будет совершенствоваться, то прогнозы относительно будущего геотермальной энергии станут более оптимистическими.

До сих пор имеются неясности в отношении гидротермальных месторождений, связанные, например, с естественным движением воды и конвективной циркуляцией в них, с особенностями переноса тепла и геологии. Однако их общая природа теперь достаточно хорошо известна (см. рисунок 19).

Чтобы гидротермальное месторождение образовалось и существовало, очевидно, требуется наличие трех литологических показателей:

1) большой объем на глубине достаточно горячих горных пород, являющихся основным источником тепла;

2) водоносный пласт или проницаемая формация над ними, через которые подземные вода достигали бы породы и внутри которых теплоноситель (пар, горячая вода или их смесь) циркулировал бы под действием конвекции и переносил теплоту на более высокий-уровень;

3) непроницаемый слой, или чехол, над водоносным пластом, предотвращающий выход на поверхность значительных количеств теплоносителя, что могло бы в течение тысячелетий привести к значительному охлаждению система, которая перестала бы представлять интерес как источник энергии. Такой чехол во многих случаях образуется в результате закупорки

первоначально проницаемой формами минеральными солями, растворенными на глубине и затем осевшими в холодной породе вблизи поверхности.

Если теплоноситель, циркулирующий в верхней масти водоносного пласта, является паром, то такое месторождение называется системой с преобладанием пара. Если же температура более низкая, а давление и концентрация растворенных солей более высокие, так что циркулирующим теплоносителем является вода или раствор, то такое месторождение называется системой с преобладанием жидкости [14].

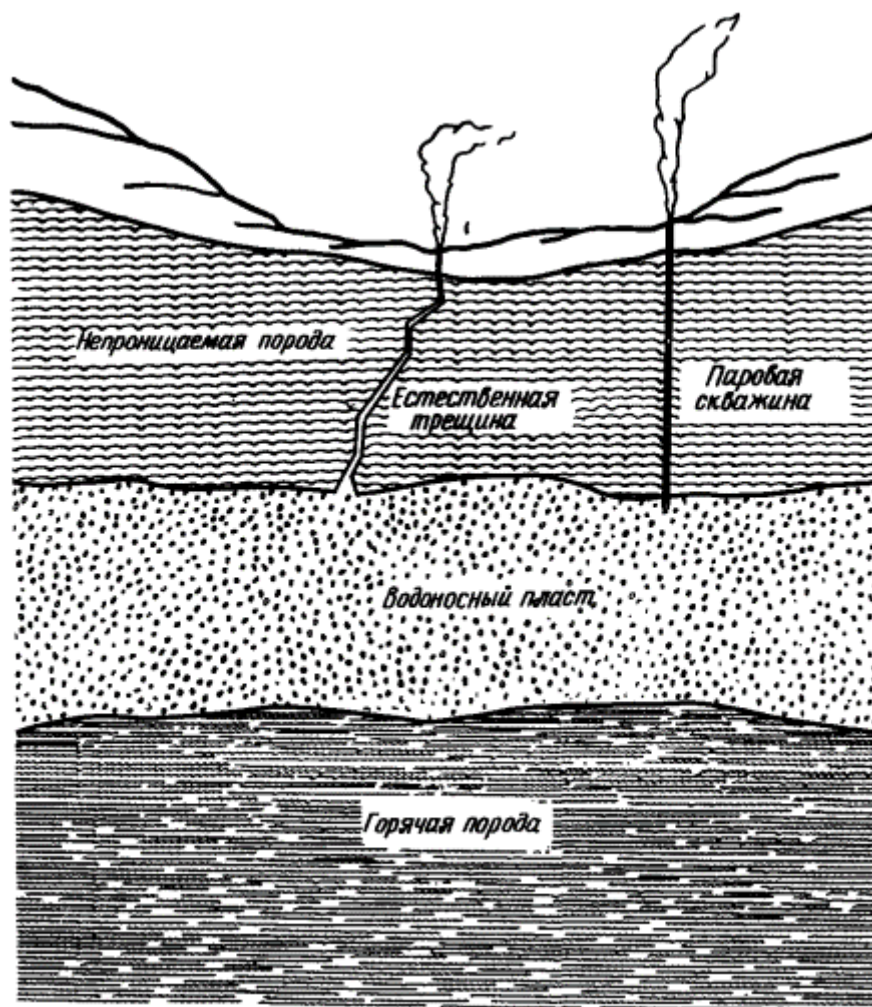


Рисунок 19 – Схема гидротермального месторождения [1].

Подтверждением существования на глубине гидротермального месторождения является обычно наличие на поверхности термальных источников, гейзеров или фумарол. Однако в настоящее время полагают, что многие гидротермальные месторождения могут существовать и без таких проявлений. Изыскание таких скрытых месторождений представляет весьма трудную задачу.

Тепловая энергия существует в горячих породах, даже когда над ними не расположено проницаемое образование и не существует циркулирующего

теплоносителя, переносящего теплоту к поверхности земли. В ряде мест, например на Гавайских островах и в других районах недавнего вулканизма, очень горячие породы расположены близко к поверхности Земли, а количество содержащейся в них энергии велико. При значениях параметров, указанных в подписи к рисунку 20, при охлаждении 167 км^3 породы на 200°C высвободится энергия, соответствующая потребности в ней США в 1970 г. В своем первоначальном виде эта энергия, конечно, не может быть использована для плавления руды или сообщения силы тяги самолету. Тем не менее ее можно использовать для многих практических целей, экономя при этом энергию высокотемпературных источников. И хотя объем пород в 167 км^3 значителен, эта цифра представляется бесконечно малой величиной по сравнению с объемом Земли или даже по сравнению с той относительно небольшой частью этого объема, которая заключена в пределах, доступных для обычного бурения.

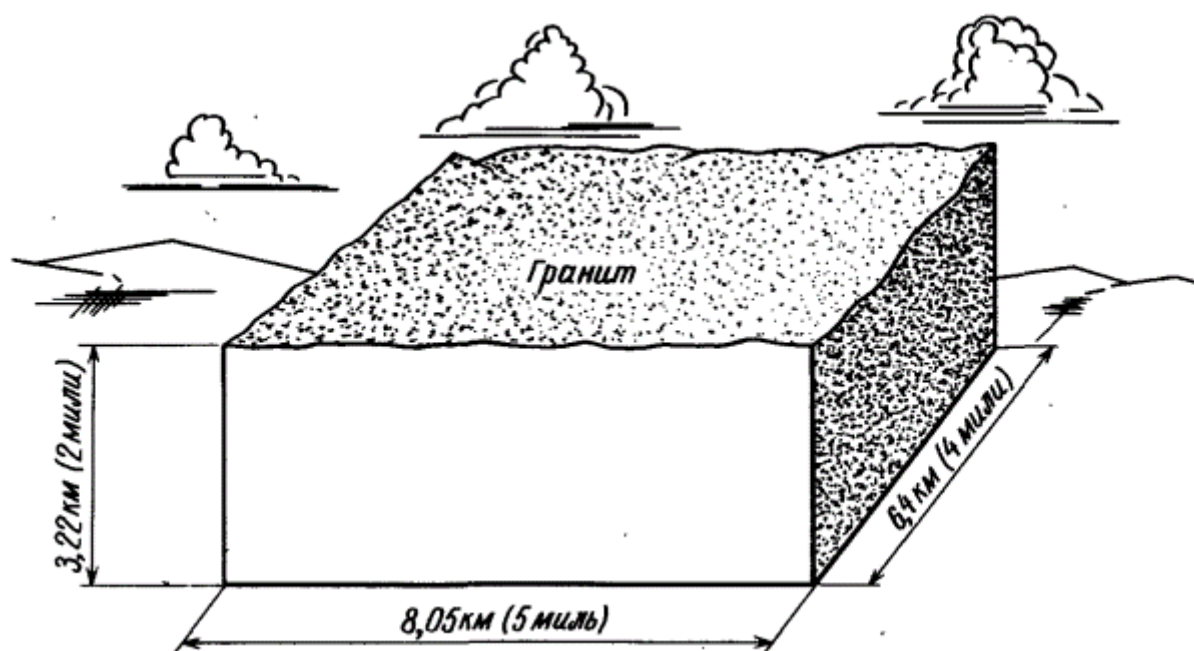


Рисунок 20 – Энергия, извлекаемая из 167 км^3 (40 куб. миль) породы при ее охлаждении на 200°C [1]. $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$; $C_p = 0,8 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$; $H_v = 2,13 \text{ мкДж/(см}^3 \cdot \text{K)}$. Для 167 км^3 , охлаждаемых на 200°C , $\Delta H - 7,1 \cdot 10^{19} \text{ Дж}$.

В настоящее время методы извлечения и использования влажного и сухого пара для производства электроэнергии достаточно хорошо разработаны и продолжают совершенствоваться. Интенсивно развиваются методы использования низкотемпературных термальных вод и концентрированных растворов. Начата разработка способов извлечения энергии из широко распространенных сухих геотермальных месторождений.

Сухие скальные породы.

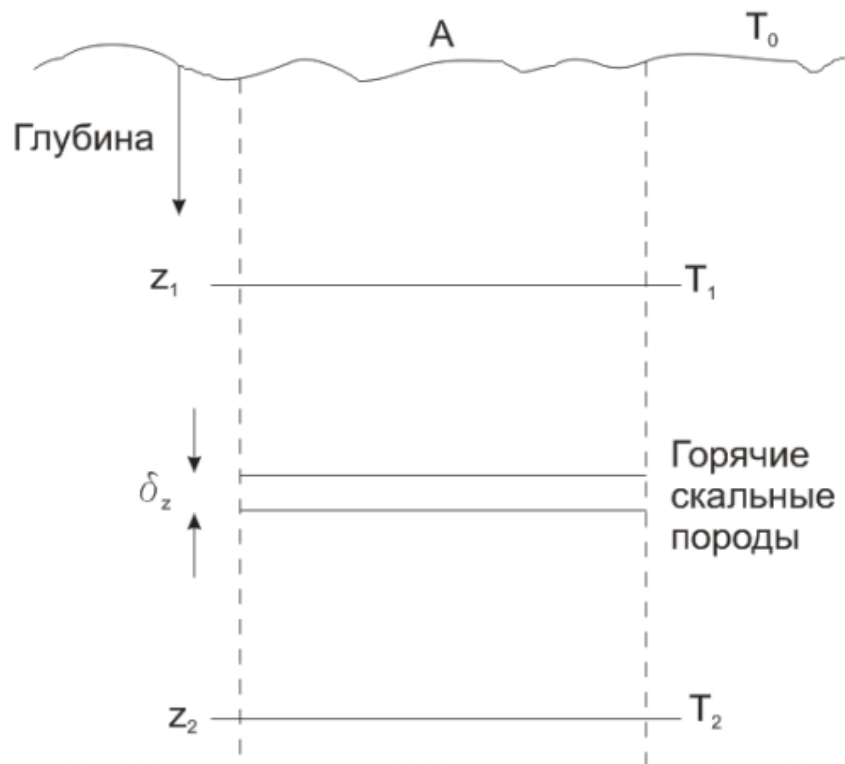


Рисунок 21 – Структура системы из сухих горных пород.

Полное полезное теплосодержание скального грунта до глубины равно:

$$E_0 = \rho_r \cdot A \cdot c_r \cdot \mathcal{J} \cdot (z_2 - z_1) / 2 \quad (76)$$

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,

$$\theta = (T_2 - T_1) / 2 = \mathcal{J} \cdot (z_2 - z_1) / 2 \quad (77)$$

В этом случае $E_0 = C_r \cdot \theta$, где C_r – теплоёмкость горных пород, залегающих в слое между z_1 и z_2 :

$$C_r = \rho_r \cdot A \cdot c_r \cdot (z_2 - z_1). \quad (78)$$

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 .

$$\theta = \theta_0 \cdot e^{-t/\tau}. \quad (79)$$

$$E = E_0 \cdot e^{-t/\tau}. \quad (80)$$

Постоянная времени τ определится:

$$\tau = \rho_v \cdot A \cdot c_v \cdot (z_2 - z_1) / (Q \cdot \rho_v \cdot c_v). \quad (81)$$

Естественные водоносные пласты.

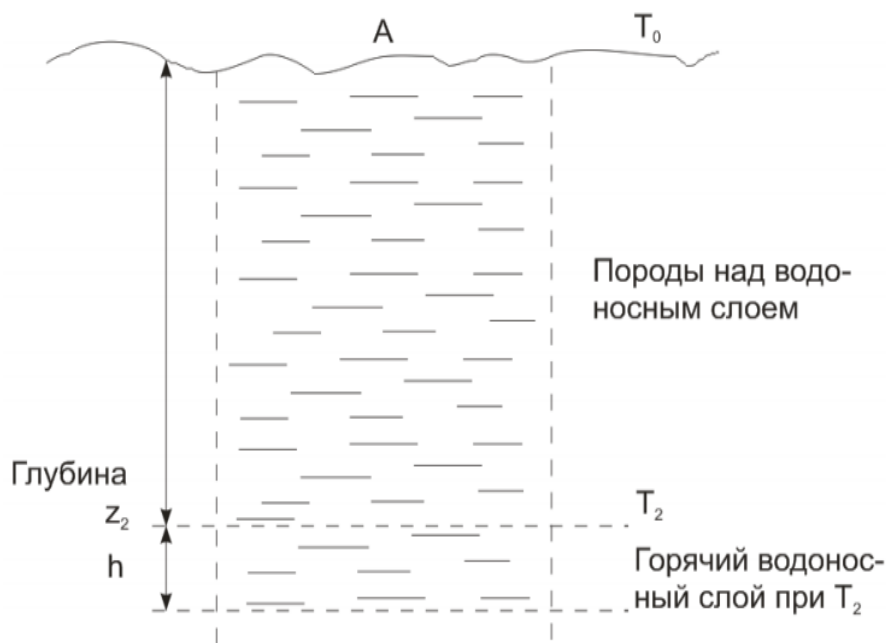


Рисунок 22 – Профиль горячего водоносного слоя.

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 . 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.

$$T_2 = T_0 + (dT/dz) \cdot z = T_0 + Ж \cdot z, \quad (82)$$

$$E_o/A = C_r \cdot (T_2 - T_1), \quad (83)$$

где

$$C_r = [p \cdot \rho_v \cdot c_v + (1 - p) \cdot \rho_r \cdot c_r] \cdot h. \quad (84)$$

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

$$Q \cdot \rho_v \cdot c_v \cdot \theta = - C_r \cdot d\theta/dt. \quad (85)$$

$$E = E_o \exp(-t/\tau_a), \quad (86)$$

$$\tau_a = C_r / (Q \cdot \rho_v \cdot c_v) = [p \cdot \rho_v \cdot c_v + (1 - p) \cdot \rho_r \cdot c_r] h / (Q \cdot \rho_v \cdot c_v). \quad (87)$$

1.9 Энергия прилива

Прилив - полный цикл приливных колебаний уровня, включая прилив (подъем уровня) и отлив (падение уровня). Соответственно в дальнейшем изложении принят термин «приливно-электростанция» или сокращенно по аналогии с ТЭС, ГЭС и АЭС — ПЭС, т. е. электростанция, использующая явление прилива, при котором она может работать как на одной фазе — приливе, так и на другой — отливе, поочередно или избирательно. Поэтому определение приливной электростанции как гидроэлектростанции, использующей энергию морских приливов и отливов, по стандартам является неверным, так как ее нельзя называть гидроэлектростанцией, поскольку она использует не силу падения воды, а энергию вращения Земли; кроме того, ПЭС может работать не только на приливе-отливе, но и отдельно на каждой из этих фаз. Поэтому и прилагательным «приливно-» определяется особенность данного типа электростанции, которая в отличие от других (тепловых, атомных, речных, ветровых, солнечных, геотермальных и др.) реализует энергию особого вида, а именно приливную энергию.

Волна прилива заливает огромные пространства. В зависимости от положения пункта на земном шаре, формы береговой линии и рельефа дна уровень прилива поднимается на высоту от нескольких сантиметров во внутриматериковых морях (Черное, Балтийское, Средиземное и др.) до многих метров в вершинах воронкообразных заливов, открытых в сторону океана. Именно в вершине такого залива Фанди в Канаде наблюдается наивысший на земном шаре прилив 16,2 м [15], который в шторм 1969 г. у порта Монктон достиг 17,3 м [15]. В других пунктах земного шара наивысшие приливы наблюдаются в Великобритании в устье р. Северн (14,5 м), во Франции в порту Гранвиль (14,7 м), в Аргентине в порту Рио-Гальегос (13,3 м), в Австралии в устье р. Фицрой (11,5 м). В СССР наибольший прилив происходит в Мезенском

заливе Белого моря в устье р. Кулой (10 м) и в Пенжинской губе Охотского моря, м. Водопадный (13,4 м).

При больших амплитудах прилива его волна, заходя в устья многоводных рек, поворачивает вспять их течение.

На некоторых реках свободная поверхность приливной волны при высоких приливах, обычно в начале прилива, сопрягается с зеркалом речного потока в форме прыжка, высота которого достигает от 1 [эстуарии рек Северн (Великобритания), Несь и Кулой (Мезенский залив СССР)] до 2 м (р. Сома, Франция), 9 м (р. Хугли, Бенгальский залив, Индия). Этот водяной вал обычно распространяется в устье реки вместе с приливной волной. В отлив вал образуется уступом с крутизной фронта 70° в сторону моря. Такое явление носит название бора [15].

Приливные колебания уровня сопровождаются переменными приливными течениями, изменчивость которых во времени характеризуется в общем теми же закономерностями, однако в каждом конкретном пункте они для уровня и течений могут быть различными. В некоторых местах из-за специфических местных условий общие закономерности приливных движений могут нарушаться, что выражается в задержке и искажении плавного хода уровня или течения.

В таких пунктах, как м. Матугин в Гижигинской губе, в течение части лунного месяца прилив продолжается 12 ч, а при отливе, на середине его или позже, течение неожиданно замирает и даже сменяется небольшим приливом, после чего отлив продолжается.

Причина смены приливов даже там, где они проходят строго регулярно, долгое время оставалась непознанной, хотя еще древние греки догадывались о связи приливов с фазами луны, но сложность и различие приливных колебаний привели к тому, что древнее изречение «приливы — могила человеческого любопытства» в течение многих веков казалось незыблемым [15].

Приливные колебания уровня чаще всего имеют периодичность, равную половине лунных суток, т. е. 12 ч 24 мин (полусуточные приливы), либо целым лунным суткам, т. е. 24 ч 48 мин (суточные приливы). В большинстве случаев реальные колебания представляют собой сочетание обоих указанных типов и получают название по тому из них, который значительно преобладает над другим. Если оба типа колебаний играют существенную роль, то прилив называют смешанным. Максимальный уровень в продолжение одного периода приливных колебаний называют полной водой (ПВ), а минимальный уровень — малой водой (МВ) [15].

Высота колебаний уровня характеризуется разностью уровней соседних полной и малой вод, которую называют величиной прилива A^* , либо высотой полной или малой воды относительно среднего приливного уровня, называемой амплитудой прилива $A/2$ (см. рисунок 23). Эти характеристики в одном и том же пункте могут существенно изменяться во времени. Наиболее заметные изменения имеет период 14,7 сут (половина лунного месяца), в течение

которого амплитуда изменяется от максимума до минимума, причем значения этих экстремумов также бывают различными.

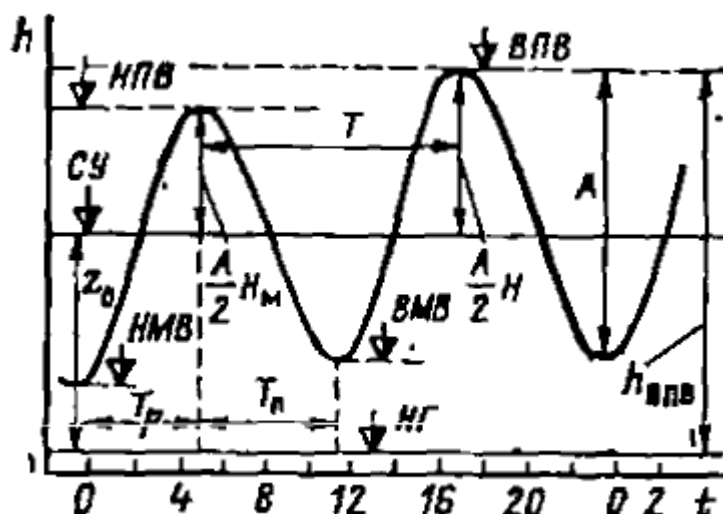


Рисунок 23 — Характеристики прилива: СУ — средний уровень; НМВ — низкая малая вода; ВМВ — высокая малая вода; НПВ — низкая полная вода; ВПВ — высокая полная вода; НГ — нуль глубин; $h_{ВПВ}$ — высота высокой полной воды над нулем глубин; $A/2$ — амплитуда прилива; A — величина прилива; T — период прилива; z_0 — высота среднего уровня над нулем глубин; $T_p = t_{ПВ} - t_{МВ}$ продолжительность роста или подъема уровня; $T_п = t_{МВ} - t_{ПВ}$ — продолжительность падения уровня.

При полусуточных приливах наибольшие значения амплитуд достигаются при новолунии и полнолунии (сизигийные приливы), а минимальные — в первую и третью четверть Луны (квадратурные приливы). При суточных приливах наибольшие амплитуды наблюдаются при экстремальных склонениях Луны (тропические приливы), а минимальные — при нулевом склонении (экваториальные приливы) [15].

При совпадении по фазе тропических приливов с сизигийными амплитуда суммарного прилива достигает максимальных значений.

Причиной приливных движений (приливных колебаний уровня и приливных течений) в Мировом океане является приливообразующая сила, возникающая при гравитационном взаимодействии Земли с Луной и Солнцем. Приливообразующая сила Луны в данной точке земной поверхности определяется как разность местного значения силы притяжения Луны и центробежной силы от обращения системы Земля — Луна вокруг общего центра тяжести. Практическое значение для водной оболочки Земли имеет лишь горизонтальная составляющая приливообразующей силы, распределение которой по поверхности Земли показано на рисунок 24. В процессе своего вращения Земля «проворачивается» внутри этого силового поля, которое относительно медленно изменяет свою ориентацию («следя» за положением

Луны на небесной сфере) и интенсивность (усиливаясь при сближении Луны с Землей и ослабевая при их удалении) [15].

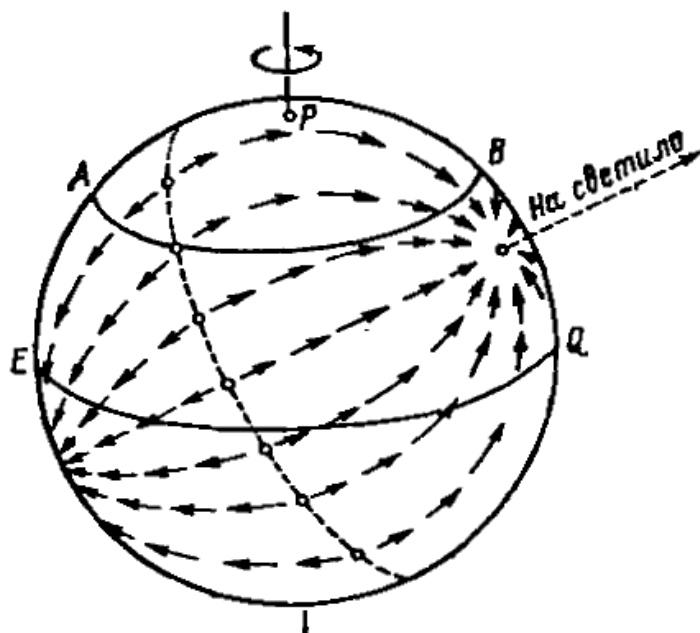


Рисунок 24 – Распределение горизонтальных составляющих приливообразующей силы на поверхности земного шара: Р — северный полюс; EQ — линия экватора; АВ — фиксированная параллель

Простейшая реакция водной оболочки Земли на действие приливообразующих сил определяется статической теорией Ньютона. Согласно этой теории водная оболочка принимает форму, при которой уклон водной поверхности в любой момент уравнивается приливообразующей силой. При сплошной водной оболочке она должна принять форму эллипсоида вращения, большая ось которого направлена на Луну. Пока эллипсоид, следуя за Луной, сделает один оборот вокруг Земли, сама Земля провернется внутри него вокруг своей оси 29,53 раза. Понятно, что при этом вращении каждая точка поверхности Земли будет проходить на различных расстояниях от поверхности силового приливного эллипсоида. Легко видеть, что расстояния между соответственными точками поверхности эллипсоида и вращающегося внутри него шара будут непрерывно и периодически изменяться от минимума к максимуму и опять к минимуму. Это и определяет приливное колебание, имеющее строго определенную периодичность. Если Луна находится в плоскости экватора, эта периодичность — чисто полусуточная [15].

Прилив, вызываемый Солнцем, возникает по тому же принципу, что и лунный, но ввиду большего удаления Солнца от Земли величина солнечного статического прилива в 2,17 раза меньше лунного.

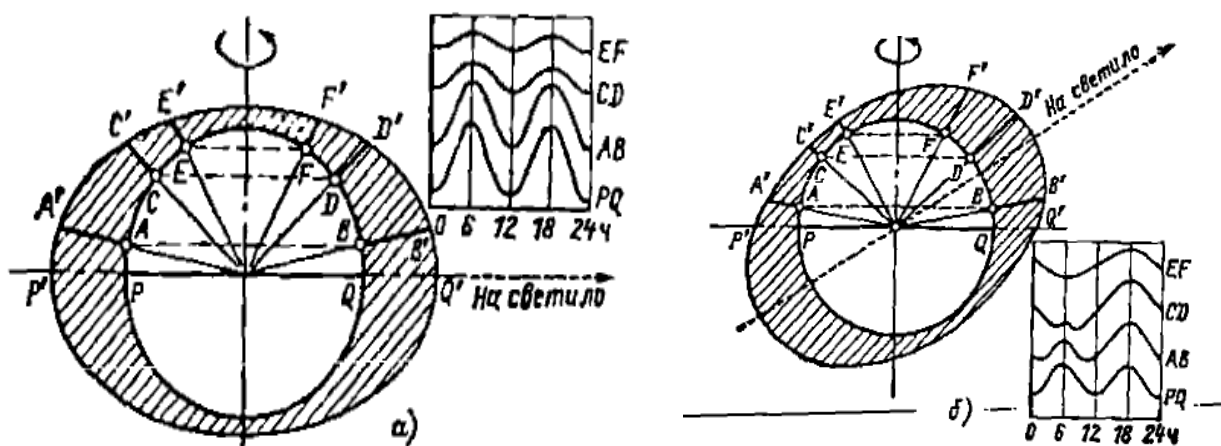


Рисунок 25 – Приливный эллипсоид и схема образования суточного неравенства в статическом приливе при склонении приливообразующего светила: а - склонение равно нулю - чисто полусуточный прилив на всех широтах; б - склонение не равно нулю - нарастание суточной доли с ростом широты

Простая полусуточная периодичность приливных колебаний усложняется влиянием трех основных факторов: переменного склонения приливообразующих светил (Луны и Солнца) относительно плоскости земного экватора, изменением их взаимного расположения относительно Земли и, наконец, изменением их удаления от Земли. В результате возникают различия в высотах и времени наступления полных и малых вод — неравенства прилива. По своей периодичности неравенства разделяются на суточные, полумесячные, месячные и долгопериодные. Причины неравенств могут быть объяснены на основе статической теории [15].

Суточное неравенство проявляется в различии по высоте двух смежных полных и малых вод в течение суток и в неравенстве времени их падения и роста. Это неравенство связано со склонением приливо-образующего светила относительно плоскости земного экватора (см. рисунок 25). При том положении эллипсоида, которое показано на рисунке, правильный полусуточный прилив сохраняется только на экваторе ($PP' = QQ'$), а севернее и южнее него возникают неравенства. Например, в точке Б наблюдается полная вода, высота которой BB' будет наибольшей; последующая полная вода AA' будет значительно меньше. Не равны также время падения уровня и время последующего роста. На полюсах и в высоких широтах (точки Е и Г) вторая полная вода будет отсутствовать и прилив будет суточным. Таким образом, можно сказать, что суточное неравенство является следствием появления суточной составляющей, нарастающей с удалением от экватора [15].

Полумесячные неравенства включают в себя фазовое и тропическое неравенства.

Фазовое неравенство, характерное для полусуточных приливов, обусловлено периодическими изменениями взаимного расположения Земли,

Луны и Солнца (т. е. фазами Луны). В новолуние и полнолуние, когда Земля, Луна и Солнце находятся на одной линии, эллипсоиды солнечного и лунного приливов «суммируются», что дает увеличенный сизигийный прилив.

При расположении Луны и Солнца под прямым углом относительно Земли (первая и третья четверти) эллипсоиды лунного и солнечного приливов взаимно «вычитаются», приводя к уменьшенному квадратурному приливу. Средний период фазового неравенства равен 14,7 сут. [15].

Тропическое неравенство проявляется в изменении интенсивности рассмотренного выше суточного неравенства. Эта интенсивность, т. е. доля суточной составляющей в приливном колебании, увеличивается с ростом склонения Луны и периодически — с периодом, равным 13,7 сут, достигает максимального значения (тропические приливы) при одновременном уменьшении полусуточной составляющей. При нулевом склонении интенсивность суточного неравенства минимальна и приливы являются экваториальными [15].

Месячное неравенство, называемое также параллактическим, обусловлено изменением расстояния от Луны до Земли из-за того, что Луна вращается вокруг Земли по эллиптической орбите. Когда Луна находится в перигее — на расстоянии 57 земных радиусов, ее приливообразующая сила, а следовательно, и прилив увеличиваются; при положении Луны в апогее — на расстоянии 63,7 земного радиуса — прилив уменьшается. Период этого изменения величины прилива равен 27,55 суток [15].

Изменения склонения Солнца и его расстояния до Земли порождают тропическое и параллактическое неравенства в солнечном приливе с полугодовой и годовой периодичностью; эти неравенства относятся к долгопериодным. Существуют и неравенства с еще большими периодами. Наиболее заметное из них — неравенство с периодом 18,6 года, связанное с изменением максимально возможного склонения Луны. Влияние этого неравенства для правильных полусуточных приливов относительно невелико [15].

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

$$\mathcal{E}_{\text{пот.}} = 1,97 \cdot 10^6 \cdot R_{\text{ср}}^2 F, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (88)$$

где $R_{\text{ср}}$ — средняя величина прилива, м;

F — площадь бассейна, км².

2 Практические задания

Задача 1. Использование солнечной энергии для отопления «чёрного солнечного дома». «Чёрный солнечный дом» с большим окном с южной стороны размером $H \cdot L$ (высота, длина) и массивной зачернённой стенкой с северной стороны. Толщина поглощающей стенки, изготовленной из бетона (v), его плотность $\rho = 2,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, коэффициент пропускания стекла $\tau_{\text{п}} = 0,9$, коэффициент поглощения стенки $\alpha_{\text{п}} = 0,8$. Определить: Какой требуется поток солнечного излучения, чтобы нагреть воздух в комнате на 20°C градусов выше наружного. Температуру воздуха в доме в 8 часов утра, т. е. через 16 часов. Температура наружного воздуха $T_1 = 0^\circ \text{C}$ градусов. Теплоёмкость бетона $c = 840 \text{ Дж/кг} \cdot \text{K}$. Удельное термическое сопротивление потерям тепла из комнаты наружу через стекло $r = 0,07 \text{ м}$.

Таблица 3 – Исходные данные

Варианты															
Величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$H, \text{ м}$	3	4	5	4	5	3	5	4	3	5	3	4	5	4	5
$L, \text{ м}$	5	3	4	6	5	4	4	3	6	3	6	4	5	4	6
$v, \text{ м}$	0,2	0,1	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,4	0,2	0,3	0,4	0,3

Задача 2.

Зная площадь бассейна $F \cdot 10^3, \text{ км}^2$ и среднюю величину прилива $R, \text{ м}$ (см. таблицу 4). Оценить приливной потенциал бассейна $\mathcal{E}_{\text{пот}}$, используя формулу Л.Б. Бернштейна.

Таблица 4 – исходные данные

Варианты															
Величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$F \cdot 10^3, \text{ км}^2$	1	1,2	1,4	1,5	1,8	2,0	2,4	2,2	2,6	2,8	1	1,2	1,5	2,0	2,2
$R, \text{ м}$	7	8	9	10	11	12	13	14	15	12	11	10	9	8	7

Задача 3.

Размеры плоского пластинчатого нагревателя $H \cdot L$ (ширина и длина) (см. таб.3), сопротивление теплопотерям $r = 0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{K/Вт}$, коэффициент теплопередачи $a = 0,85$. Коэффициент пропускания стеклянной крышки $\tau = 0,9$. Коэффициент поглощения пластины $\alpha_{\text{п}} = 0,9$. Температура входящей в приёмник жидкости T_2 . Температура окружающего воздуха T_1 , поток лучистой энергии $G, \text{ Вт/м}^2$, теплоёмкость воды, $c = 4200, \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ \text{C)}$. Температура выходящей жидкости T_3 . Определить скорость прокачки, которая необходима

для повышения температуры на t градусов. Насос работает и ночью, когда $G = 0$. Как будет снижаться температура воды за каждый проход через приёмник (T_3, T_2). Необходимо учитывать среднюю температуру проходящей жидкости $t_{\text{ср}}$.

Таблица 5 – Исходные данные

Варианты															
Величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$H, \text{ м}$	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2
$L, \text{ м}$	0,8	0,7	0,9	1,0	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
$G, \text{ Вт/м}^2$	750	650	600	600	650	750	700	600	650	700	750	700	650	700	750
$T_1, ^\circ\text{C}$	20	15	10	5	20	15	10	5	20	15	10	5	20	15	10
$T_2, ^\circ\text{C}$	40	45	35	40	35	45	35	40	45	35	40	50	50	40	40
$t, ^\circ\text{C}$	4	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4	4	4	4	4

Задача 4. 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 $P, \text{ Вт}$.

Таблица 6 – Исходные данные

Варианты															
Величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$G, \text{ Вт/м}^2$	460	500	550	600	700	750	450	480	500	520	550	580	600	650	700
$\eta, \%$	20	18	19	20	21	22	23	18	19	20	21	22	23	24	20
$P, \text{ Вт}$	100	90	110	120	130	150	140	90	100	110	120	130	140	150	160

Задача 5.

Солнечная батарея состоит из (n) фотоэлементов, мощность каждого 1,5 Вт, размер 20-30 см. Определить КПД (η) солнечной батареи, если плотность потока $G \text{ Вт/м}^2$. (см. таблицу 7).

Таблица 7 – Исходные данные

Варианты															
Величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$n, \text{ шт.}$	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	600	1700	1800	2000	2200	2400	2700	3000
$G, \text{ Вт/м}^2$	500	450	550	600	650	700	750	450	500	550	600	650	700	750	500

Задача 6.

Площадь солнечной батареи S , м^2 , плотность тока i , А/см^2 , плотность излучения G , Вт/м^2 (см. таблицу 8). Определить ЭДС в солнечной батарее при КПД η .

Таблица 8 – Исходные данные

Варианты															
Величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$S, \text{м}^2$	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$i, \text{А/см}^2$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$
$G, \text{Вт/м}^2$	300	400	500	400	450	500	550	600	650	700	750	600	650	700	750
η	0,3	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3	0,25	0,3

Задача 7.

Небольшая домашняя осветительная система питается от аккумуляторной батареи напряжением U , В (см. таблицу 9). 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.

Таблица 9 – Исходные данные

Варианты															
Величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$U, \text{В}$	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12
$I, \text{А}$	3,0	2,5	3,0	3,5	4,0	2,5	3,0	3,5	4,0	2,5	3,0	3,5	4,0	3,0	3,5

Задача 8.

Приёмник расположен на теплоизоляторе с коэффициентом теплопроводности λ , $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$, (см. таблицу 10), 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.

Таблица 10 – Исходные данные

Варианты															
Величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\lambda, \text{Вт/м} \cdot \text{К}$	0,034	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,15	0,1	0,12	0,13	0,14	0,05	0,06	0,04

Задача 9.

Определить температуру трубки $T_{тр}$ вакуумированного приёмника, если внутренний диаметр трубки d , см, поток солнечной энергии G , Вт/м², температура среды $T_{ср}$, (см. Таблицу 11). Сопротивления потерям тепла $R = 10,2$ К/Вт, коэффициент пропускания стеклянной крышки $\beta = 0,9$, коэффициент поглощения (доля поглощённой энергии), $\alpha_{л} = 0,85$.

Таблица 11 – Исходные данные

Варианты															
Величина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
d , см	1,0	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,0
G , Вт/м ²	750	700	650	600	550	500	750	700	650	600	550	500	750	700	650
$T_{ср}$, °С	20	15	10	5	10	15	20	15	10	5	0	5	10	15	20

Задача 10.

Содержание влаги в собранном рисе W_n , % (см. таблицу 12). При температуре воздуха $T_2 = 30$ °С и относительной влажности $\phi = 80\%$, равновесная влажность. $W_p = 16\%$, плотность влажного воздуха $\rho = 1,15$ кг/м³, удельная теплота парообразования воды $r = 2,4$ МДж/кг. Рис необходимо высушить до $W_k = 16\%$. Подсчитать, какое количество воздуха при температуре сушки t , °С, необходимо, чтобы просушить M , кг. риса.

Таблица 12 – Исходные данные.

Варианты															
Величина, а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
W_n , %	28	26	30	24	26	28	30	24	26	28	30	24	26	28	30
t , °С	45	50	40	45	50	40	45	50	40	45	50	40	45	50	45
M , кг	1000	800	1200	1000	1550	1000	1200	1800	2000	2500	3000	1000	2000	1500	1200

Задача 11.

Площадь солнечного дистиллятора $B \cdot L$, м². Поток излучения составляет G , МДж/м² в день. (см. таблицу 13). Удельная теплота парообразования воды $r = 2,4$ МДж/кг. Определить производительность дистиллятора.

Таблица 13– Исходные данные.

Варианты															
Величина, а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
B , м	5	5	10	15	10	15	20	15	10	10	25	25	25	25	25
L , м	5	10	15	5	20	20	20	10	10	5	5	10	15	20	25
G , МДж/м ² день	20	15	10	10	15	20	20	15	15	10	15	15	20	20	15

Задача 12.

Небольшой хорошо изолированный дом требует среднего внутреннего расхода тепла Q , кВт. (см. таблицу 14). Вместе с дополнительным теплом от освещения это обеспечивает поддержание внутренней температуры 20°C . Под домом находятся аккумулятор горячей воды в виде прямоугольной ёмкости, верхней частью которой служит пол дома $S, \text{м}^2$. Аккумулятор теряет тепло в процессе охлаждения от 60 до 40°C в течение τ , суток. Потеря тепла происходит только через пол. Необходимо определить: глубину ёмкости, м; термическое сопротивление, K/Вт ; толщину покрытия верхней крышки ёмкости, см; плотность энергии, запасённой в аккумуляторе.

Таблица 14 – Исходные данные

Варианты															
Величин, а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$Q, \text{кВт}$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
$S, \text{м}^2$	200	100	120	140	150	170	280	250	220	120	130	150	140	100	150
$G, \text{МДж/м}^2 \text{ день}$	100	150	110	120	130	140	80	90	100	120	140	70	80	90	100

Задача 13.

Радиус ветроколеса R , м, скорость ветра до колеса V_0 , м/с, после колеса V_2 , м/с (см. таблицу 15). Определить: скорость ветра в плоскости ветроколеса V_1 , мощность ветрового потока P_0 , мощность ветроустановки P и силу F , действующую на ветроколесо. Плотность воздуха $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 15 – Исходные данные.

Варианты															
Величин, а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R, \text{м}$	4	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	45	50	7,5	12,5
$V_0, \text{м/с}$	10	11	12	13	14	15	6	7	8	9	10	11	12	9	10
$V_2, \text{м/с}$	5	6	4	8	7	8	3	3	3	4	5	6	6	5	4

Задача 14.

Активная гидротурбина с одним соплом ($n = 1$), мощностью P и рабочим напором H (см. таблицу 16). Угловая скорость ω , при которой достигается максимальный КПД $\eta = 0,9$. Определить диаметр D колеса турбины и угловую скорость ω .

Таблица 16 – Исходные данные.

Варианты															
Величин,а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
P, кВт	10	20	30	40	50	690	70	80	90	100	110	120	130	140	150
H, м	10	15	20	25	30	26	40	45	50	55	60	65	70	75	80

Задача 15.

Определить объём биогаза, получаемого с помощью биогазогенератора, утилизирующего навоз n коров, и обеспечиваемую им мощность. Подача сухого сбраживаемого материала от одного животного идёт со скоростью V_m , кг/сутки. Выход биогаза составляет C м³/кг. Эффективность горелочного устройства 0,68. Содержание метана в получаемом биогазе f (см. таблицу 17). Время пребывания очередной порции в биогенераторе t_r

Таблица 17 – Исходные данные.

Варианты															
Величин,а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
n	4	10	15	20	25	30	40	45	50	55	60	65	70	80	100
V_m , кг/сут.	2,0	2,5	3,0	2,0	2,5	3,0	2,0	2,5	3,0	2,0	2,5	3,0	2,0	2,5	3,0
C , м ³ /кг	0,24	0,3	0,2	0,24	0,3	0,35	0,4	0,2	0,24	0,3	0,35	0,4	0,2	0,24	0,3
f	0,8	0,75	0,7	0,75	0,8	0,75	0,7	0,75	0,8	0,75	0,7	0,75	0,8	0,75	0,7
t_r , сутки	20	18	16	14	12	10	8	10	12	14	16	18	20	15	13

Задача 16.

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. (см. таблица 18). Определить: кинетическую энергию маховика при максимальной скорости. Среднее значение время между подключениями электродвигателя для зарядки, если средняя мощность, потребляемая автобусом, составляет P , кВт.

Таблица 18 – Исходные данные.

Варианты															
Величин,а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M , кг	1000	1200	800	1500	1400	1000	1100	900	800	1000	1100	1200	1300	1500	1400
D , см	180	200	220	200	180	150	160	170	190	210	200	180	170	180	180
n , 1/мин	3000	2500	2500	2200	3000	3000	3000	3000	3000	2500	2600	2700	3000	3000	3000
P , кВт	20	25	30	25	20	15	20	15	15	20	25	22	20	20	22

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 , (см. таблицу 19). Определить потери тепла вдоль трассы, если температура окружающего воздуха $T_{\text{ср}}$, а пар имеет температуру 100°C .

Таблица 19 – Исходные данные.

Варианты															
Величин, а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
D , см	5	10	15	20	30	40	5	10	15	20	30	40	10	15	20
L , м	100	50	75	100	150	200	250	300	400	100	150	200	250	300	350
λ , кВт/м К	0,04	0,05	0,06	0,07	0,04	0,05	0,06	0,07	0,04	0,05	0,06	0,07	0,04	0,05	0,06
X , см	1	2	3	4	5	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
$T_{\text{ср}}$, $^\circ\text{C}$	10	-20	-15	-10	-5	0	10	15	20	-20	-15	-15	-10	0	10

Задача 18.

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, $\tau = 1$; $\alpha = 1$; $r = \infty$.

Таблица 20 – Исходные данные.

Варианты															
Величин, а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
G , МДж/м ²	20	19	18	17	16	21	22	20	19	18	17	16	21	20	19

Задача 19.

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

Таблица 21 – Исходные данные.

Варианты															
Величин,а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
λ , м	100	90	110	120	130	140	150	100	110	90	80	100	110	120	130
a, м	1,5	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,6	1,7	1,5	1,4	1,7	1,8	1,9	2,0

Задача 20.

Рассчитайте полезное теплосодержание E_0 на 1 км^2 сухой скальной породы (гранит) до глубины z , км (см. таблицу 22). 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 , $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$? Какова будет тепловая мощность, извлекаемая первоначально и через 10 лет?

Таблица 22 – Исходные данные.

Варианты															
Величин,а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Z , км	7	6	5	6	5	7	5	6	5	7	6	5	6	5	7
G , °С/км	40	50	60	50	60	50	70	60	50	40	50	60	70	50	80
V , $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,0	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,3	1,2	1,0	1,1

Задача 21.

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 $\rho_{rp} = 2700 \text{ кг/м}^3$; пористость a %; удельная теплоёмкость $c_{rp} = 840 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$. Температурный градиент (dT/dz) °С/км. Среднюю температуру поверхности t_0 принять равной 10°С . Удельная теплоёмкость воды $c_v = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$; плотность воды $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Расчёт произвести по отношению к плоскости поверхности $F \text{ км}^2$. Минимально допустимую температуру пласта принять равной $t_1 = 40^\circ\text{С}$. 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 $(dE/d\tau)\tau = 0$ и через 10 лет?

Таблица 23 – Исходные данные

Варианты															
Величин,а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
h, км	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	0,8	1,0	1,2	1,3	1,5	0,9	1,1
z, км	3,5	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0	2,0	2,0	3,0	4,0	5,0	4,0
a, %	5	4	5	6	7	4	5	6	7	4	5	6	7	4	5
dT/dz с/км	65	70	75	80	60	65	70	75	80	85	90	70	80	75	80
V, м ³ /(с км ²)	1,0	1,2	1,1	1,3	1,4	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0	1,4	1,5	1,1	1,2	1,3

Задача 22.

На солнечной электростанции башенного типа установлено n гелиостатов, каждый из которых имеет поверхность F_{Γ} . Гелиостаты отражают солнечные лучи на приёмник, на поверхности которого зарегистрирована максимальная энергетическая освещённость $N_{\text{пр}}$. Коэффициент отражения гелиостата $K_{\Gamma} = 0,8$, коэффициент поглощения $\alpha_{\text{пог}} = 0,95$. Максимальная облучённость зеркала гелиостата G_{Γ} . 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 приёмника $\epsilon_{\text{пр}} = 0,95$. Конвективные потери вдвое меньше потерь от излучения. Коэффициент излучения абсолютно чёрного тела $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{K}^4)$.

Таблица 24 – Исходные данные

Варианты															
Величин,а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
n	263	300	280	270	260	200	350	340	320	330	310	280	180	250	255
F_{Γ} , м ²	58	50	60	55	65	70	40	45	50	55	60	65	70	60	55
G_{Γ} , Вт/м ²	600	650	700	700	680	650	700	690	680	670	650	640	700	660	660
t , °С	660	700	680	670	660	650	690	680	670	660	650	680	670	680	660
$N_{\text{пр}}$, МВт/м ²	2,5	2,0	3,0	3,5	3,3	3,4	3,2	3,9	2,8	2,6	2,7	2,6	2,5	2,4	2,6

Задача 23

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 , м² при годовой потребности в пресной воде V , тыс. тонн в год. Интенсивность солнечного излучения M , тыс. МДж/м²год, число солнечных

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

Таблица 25 – Исходные данные.

Варианты															
Величин,а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
V, тыс. т/сутки	500	400	350	300	300	250	200	150	50	10	1	0,9	0,8	0,7	0,6
M, тыс. МДж/м ² год	5,0	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	5,0	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	5,0	5,1	5,2

3 Примеры решения задач

К задаче 1.

«Чёрный солнечный дом» с большим окном с южной стороны размером $H \cdot L$ (высота и длина) и массивной зачернённой стенкой с северной стороны. Толщина поглощающей стенки, изготовленной из бетона (в), его плотность $\rho = 2,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Определить поток солнечного излучения, необходимый для нагрева воздуха в комнате на 20°C градусов выше наружного. Температуру воздуха в доме в 8 часов утра, т. е. через 16 часов. Температура наружного воздуха $T_1 = 0^\circ\text{C}$ градусов. Теплоёмкость бетона $c = 840 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$. Удельное термическое сопротивление потерям тепла из комнаты наружу через стекло $r = 0,07 \text{ м}^2 \cdot \text{K/Вт}$; α – коэффициент поглощения стенки, 0,8; τ – коэффициент пропускания стекла, 0,9; плотность бетона, 2700 кг/м^3 ; площадь окна равна площади бетонной стенки.

Решение:

$$\tau \cdot \alpha \cdot G = (T_r - T_a)/r,$$

где r – термическое сопротивление потерям тепла из комнаты наружу вертикального окна с одним стеклом, $0,07 \text{ м}^2 \text{K/Вт}$;

T_a – наружная температура, $^\circ\text{C}$;

T_r – температура в комнате, $^\circ\text{C}$;

τ – коэффициент пропускания стекла, 0,9;

α – коэффициент поглощения стенки, 0,8;

G – поток солнечного излучения;

$$G = 20^\circ\text{C}/(0,07 \cdot 0,9 \cdot 0,8) = 400 \text{ Вт/м}^2.$$

Такую облучённость можно ожидать в ясный солнечный зимний день.

При $G = 0$; $dT_r/dt = -(T_r - T_a)/R$; $C = mc$; $R = r/A = 0,07/10 = 0,007 \text{ K/Вт}$,

где A – площадь окна, 10 м^2 .

$$T_r - T_a = (T_r - T_a)_0 \exp[-t/(RC)],$$

$$T_a = \text{const}$$

Поглощающая стенка изготовлена из бетона.

$$C = mc$$

$$C = 2,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 2,5 \cdot 0,1 \cdot 840 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)} = 2 \cdot 10^6 \text{ Дж/K},$$

$$RC = 0,007 \cdot 2 \cdot 10^6 = 14000 \text{ сек} = 4 \text{ час}.$$

Через 16 часов температура воздуха в доме будет выше наружной на: $20^\circ\text{C} \cdot \exp(-16/4) = 0,4^\circ\text{C}$.

К задаче 2.

Зная площадь бассейна $F \cdot 10^3$, км^2 и среднюю величину прилива R , м. (таб. 2). Оценить приливной потенциал бассейна $\mathcal{E}_{\text{пот}}$, используя формулу Л.Б. Бернштейна.

Решение:

Площадь бассейна $F = 1000 \text{ км}^2$; Средняя величина прилива $R_{\text{ср}} = 7,2 \text{ м}$.
 $\mathcal{E}_{\text{пот}} = 1,97 \cdot 10^6 \cdot R_{\text{ср}}^2 \cdot F$

$$\Xi_{\text{пот}} = 1,97 \cdot 106 \cdot 7,22 \cdot 1000 = 102 \cdot 106 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

К задаче 3.

Размеры плоского пластинчатого нагревателя $H \cdot L$ (ширина и длина) (таб.3), сопротивление теплопотерям $r = 0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, коэффициент теплопередачи $a = 0,85$. Коэффициент пропускания стеклянной крышки $\tau = 0,9$. Коэффициент поглощения пластины $\alpha_{\text{п}} = 0,9$. Температура входящей в приёмник жидкости T_2 .

Температура окружающего воздуха T_1 , поток лучистой энергии G , $\text{Вт}/\text{м}^2$, теплоёмкость воды, $c = 4200$, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$. Температура выходящей жидкости T_3 . Определить скорость прокачки, которая необходима для повышения температуры на t градусов. Насос работает и ночью, когда $G = 0$. Как будет снижаться температура воды за каждый проход через приёмник ($T_3 - T_2$). Необходимо учитывать среднюю температуру проходящей жидкости $t_{\text{ср}}$.

Решение

Дано: $T_1 = 20^\circ\text{C}$; $T_2 = 40^\circ\text{C}$; $t = 4^\circ\text{C}$; $H = 0,8\text{м}$; $L = 2\text{м}$; $G = 750\text{Вт}/\text{м}^2$; $\alpha = 0,9$; $\tau = 0,9$. Тепловой поток на единицу площади:

$$q = (\rho \cdot c \cdot Q/A) \cdot (T_3 - T_1) = a[\tau \cdot \alpha \cdot G - (T_{\text{ср}} - T_1)/r],$$

где ρ – плотность воды, $1000\text{кг}/\text{м}^3$; c – теплоёмкость воды, $4200\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; Q – объём прокачиваемой жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$;

$T_3 = (T_2 + t)$ – температура выходящей воды, $^\circ\text{C}$;

$T_{\text{ср}} = (T_2 + t/2)$ – средняя дневная температура в приёмнике

$$T_{\text{ср}} = (40 + 4/2) = 42^\circ\text{C};$$

$$Q = a[\tau \cdot \alpha \cdot G - (T_{\text{ср}} - T_1)/r] \cdot A/[\rho \cdot c \cdot (T_3 - T_2)]$$

$$Q = 0,85 \cdot 1,6 \cdot [0,9 \cdot 0,9 \cdot 750 - (42 - 20)/0,13] / [1000 \cdot 4200 \cdot (44 - 40)] =$$

$$= 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{сек} = 130\text{л}/\text{ч}.$$

Температура воды за каждый проход через приёмник в ночное время будет снижаться ($T_3 - T_2$).

Определим ($T_3 - T_2$) из выражения: $Q = a[\tau \cdot \alpha \cdot G - (T_{\text{ср}} - T_1)/r] \cdot A/[\rho \cdot c \cdot (T_3 - T_2)]$. Подставим $G = 0$, среднюю ночную температуру: $T_{\text{ср}} = (40 - 4/2) = 38^\circ\text{C}$. Вода прокачивается со скоростью 1 цикл/ч, если насос будет продолжать работать.

$$\text{Получим: } Q = 0,85 \cdot 1,6 \cdot [0,9 \cdot 0,9 \cdot 0 - (38 - 20)/0,13] / [1000 \cdot 4200 \cdot (T_3 - T_2)] =$$

$$= 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{сек}$$

$$3,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{сек} = -1,36(38 - 20)/0,13 / [42 \cdot 105 \cdot (T_3 - T_2)] =$$

$$= -188 / [42 \cdot 105 \cdot (T_3 - T_2)]$$

Отсюда:

$$(T_3 - T_2) = -188 / 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 42 \cdot 105 = -1,3^\circ\text{C}.$$

К задаче 4.

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

Решение

Плотность потока излучения – $G = 460 \text{ Вт/м}^2$; Мощностью $P = 100 \text{ Вт}$; КПД $\eta = 20\%$; S – площадь, м^2 .

$$P = \eta \cdot S \cdot G \quad S = P / \eta \cdot G \quad S = 100 / 0,2 \cdot 460 = 1,09 \text{ м}^2.$$

К задаче 5.

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 $G \text{ Вт/м}^2$. (см. таблицу 7)

Решение:

Батарея состоит из 900 фотоэлементов, плотность потока $G = 500 \text{ Вт/м}^2$. Мощность солнечной батареи: $P = n \cdot 1,5 \quad P = 900 \cdot 1,5 = 1350 \text{ Вт}$. КПД солнечной батареи: $\eta = P / (S \cdot G)$, $S = 0,06 \text{ м}^2 \cdot 900 = 54 \text{ м}^2$. $\eta = 1350 / (54 \cdot 500) = 0,05 \quad \eta = 5\%$.

К задаче 6.

Площадь солнечной батареи S , м^2 , плотность тока i , А/см^2 , плотность излучения G , Вт/м^2 (см. таблицу 8). Определить ЭДС в солнечной батарее при КПД η .

Решение:

Дано: $S = 0,25 \text{ м}^2$; $i = 3 \cdot 10^{-3} \text{ А/см}^2$; $G = 300 \text{ Вт/м}^2$, $\eta = 0,3$.

Мощность солнечной батареи: $P = E \cdot I = S \cdot G \cdot \eta$.

Отсюда ЭДС:

$$E = S G \eta / I$$

где I - ток, определяется по формуле: $I = i \cdot S$.

Тогда ЭДС:

$$E = S G \eta / I$$

$$E = 300 \cdot 0,3 \cdot 0,25 / (3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25) = 3 \text{ В}$$

К задаче 7.

Небольшая домашняя осветительная система питается от аккумуляторной батареи напряжением U , В (см. таблицу 9). 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 $E = 0,5 \text{ В}$ при токе $0,5 \text{ А}$. Расход энергии на заряд батареи 20 % больше, чем энергия отдаваемая потребителю при разряде.

Решение

Дано: $U = 8 \text{ В}$; $C = 30 \text{ А} \cdot \text{часов}$; $I = 3 \text{ А}$. Для того, чтобы зарядить аккумуляторную батарею до 8 В , солнечные элементы должны давать напряжение $9,6 \text{ В}$ (на 20% больше). ЭДС каждого элемента при пиковой нагрузке – около $0,5 \text{ В}$. Каждый вечер расходуется $3 \cdot 4 = 12 \text{ А} \cdot \text{ч}$, поэтому от элементов требуется ежедневно $12 \text{ А} \cdot \text{ч} \cdot 1,2 = 14,4 \text{ А} \cdot \text{ч}$. (на 20% больше). Пусть элементы освещены Солнцем каждый день в течение 3 ч , тогда требуемый ток

заряда составляет $14,4/3 = 4,8$ А. Следовательно, требуется параллельное соединение 10 цепочек из 20 последовательно соединенных элементов каждая.

К задаче 8.

Приёмник расположен на теплоизоляторе с коэффициентом теплопроводности λ , Вт/(м К), удельное термическое сопротивление поверхности приёмника $r = 0,13$ м² К/Вт. Определить, какой толщины требуется изоляция, чтобы обеспечить термическое сопротивление дна, равное сопротивлению поверхности.

Решение.

Коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,034$, Вт/(м К). Мощность потерь энергии с поверхности приёмника: $P = \Delta T \cdot A / r$ где A – площадь, м²; ΔT – разность температур. Мощность потерь через дно приёмника: $P_{\text{д}} = \lambda \cdot A \cdot \Delta T / \Delta x$, где Δx – толщина изоляции, м. Приравняем $P = P_{\text{д}}$, получим $\Delta x = \lambda \cdot r$ $\Delta x = 0,034 \cdot 0,13 = 0,0044$ м = 4,4 мм.

К задаче 9.

Определить температуру трубки $T_{\text{тр}}$ вакуумированного приёмника, если внутренний диаметр трубки d , см, поток солнечной энергии G , Вт/м², температура среды $T_{\text{ср}}$, (см. таблицу 11). Сопротивления потерям тепла $R = 10,2$ К/Вт, коэффициент пропускания стеклянной крышки $\beta = 0,9$, коэффициент поглощения (доля поглощённой энергии), $\alpha_{\text{л}} = 0,85$.

Решение:

Внутренний диаметр трубки $d = 1$ см = 0,01 м, поток солнечной энергии $G = 750$ Вт/м², температура среды $T_{\text{ср}} = 20^\circ\text{C}$ $\beta \alpha_{\text{л}} \cdot G \cdot d = (T_{\text{тр}} - T_{\text{ср}}) / R$. $R \cdot (\beta \alpha_{\text{л}} \cdot G \cdot d) + 20^\circ\text{C} = T_{\text{тр}}$. $T_{\text{тр}} = 10,2 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \cdot 750 \cdot 0,01 + 20 = 78,5^\circ\text{C}$.

К задаче 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 $W_{\text{р}} = 16\%$. Рис необходимо высушить до $W = 16\%$. Подсчитать какое количество воздуха при температуре сушки t , $^\circ\text{C}$, необходимо, чтобы просушить M , кг. риса. Дано: $\omega = 0,28$. При температуре воздуха 30°C и относительной влажности 80% $\omega_{\text{р}} = 0,16$. Подсчитать, какое количество воздуха при температуре 45°C необходимо для того, чтобы просушить 1000 кг риса.

Решение: Дано: $W_{\text{н}} = 28\%$; $t = 45^\circ\text{C}$; $M = 1000$ кг. Из уравнения $m/m_0 = \omega + 1 = 1,28$ Тогда сухая масса риса составляет: $m_0 = 780$ кг.

Следовательно, масса жидкости, которую необходимо испарить $m_{\omega} = (\omega - \omega_{\text{р}}) m_0$ $m_{\omega} = (0,28 - 0,16) (780) = 94$ кг.

Температура влажного воздуха на выходе из сушилки определяется следующим образом: при температуре воздуха 30°C и относительной влажности 80% , абсолютная влажность 1 м³ воздуха находится из уравнения: $\rho_{\text{п}} = P_{\text{п}} \cdot \phi / (R_{\text{п}} \cdot T)$, где $\rho_{\text{п}}$ – абсолютная влажность воздуха, кг/м³. Абсолютной влажностью воздуха называют массу водяного пара в единице объёма влажного

воздуха; P_n – давление насыщения водяного пара, $P_n = 4000$ Па при температуре 300°C ; R_n – газовая постоянная водяного пара, равная $461,6$ Дж/(кг К);

T – температура ($t + 273$). $\rho_n = 4000 \cdot 0,8 / (461,6 \cdot (30 + 273)) = 0,0229$ кг/м³ = $22,9$ г/м³.

Прошедший через рис воздух будет более влажным. Из уравнения энергетического баланса зерносушилки $m_{\text{вг}} = \rho \cdot c \cdot V \cdot (T_1 - T_2)$,

где r – удельная теплота парообразования воды $2,4$ МДж/кг;

ρ и c – плотность и теплоёмкость воздуха;

V – объём воздуха;

T_1 и T_2 – первоначальная и конечная температура воздуха.

Получаем:

$V = m \cdot r / \rho \cdot c \cdot (T_1 - T_2)$ Необходимое количество объёма воздуха $V = 94 \cdot 2,4 \cdot 103 / 1,15 \cdot 1 \cdot (45 - 30) = 94 \cdot 2,4 \cdot 103 / (1,15 \cdot 1 \cdot 15) = 13 \cdot 103$ м³

К задаче 11.

Площадь солнечного дистиллятора $(B \cdot L)$ м². Поток излучения составляет G , МДж/(м²·день). Удельная теплота парообразования воды $r = 2,4$ МДж/кг. $G = 20$ МДж/м²·в день. Определить производительность дистиллятора.

Решение:

Дано: $B = 30$ м² $L = 30$ м². Производительность дистиллятора $\Pi = G \cdot B \cdot L / r$ $\Pi = 20 \cdot 30 \cdot 30 / 2,4 = 7500$ кг/день.

К задаче 12.

Небольшой хорошо изолированный дом требует среднего внутреннего расхода тепла Q , кВт. (см. таблицу 14). Вместе с дополнительным теплом от освещения это обеспечивает поддержание внутренней температуры 20°C . Под домом находятся аккумулятор горячей воды в виде прямоугольной ёмкости, верхней частью которой служит пол дома S , м². Аккумулятор теряет тепло в процессе охлаждения от 60 до 40°C в течение τ , суток. Потеря тепла происходит только через пол. Необходимо определить: глубину ёмкости, м; термическое сопротивление, К/Вт; толщину покрытия верхней крышки ёмкости, см; плотность энергии, запасённой в аккумуляторе.

Решение:

Дано: $Q = 1$ кВт; $S = 200$ м²; $\tau = 100$ суток. Требуемое количество тепла: $Q_{\text{тр}} = Q \cdot \tau \cdot (24 \text{ ч}) \cdot [3,6 \text{ МДж}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})]$ $Q_{\text{тр}} = (1 \text{ кВт}) \cdot (100 \text{ суток}) \cdot (24 \text{ ч}) \cdot [3,6 \text{ МДж}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})] = 8640$ МДж.

Количество воды:

$m = Q_{\text{тр}} / (\rho \cdot c \cdot T_0)$ $m = (8640 \text{ МДж}) / [(1000 \text{ кг}/\text{м}^3) \cdot (4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})) \cdot (20 \text{ K})] = 103$ м³. Глубина ёмкости: $h = m / S$ $h = 103 \text{ м}^3 / 200 \text{ м}^2 = 0,5$ м. Допустим, что потеря тепла происходит только через верхнюю часть ёмкости. Тогда термическое сопротивление:

$R = (\tau \cdot Q_{\text{тр}}) / \{(1,3) \cdot m \cdot (1000 \text{ кг/м}^3) \cdot [4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}]\}$ $R = (100 \text{ суток}) \cdot (86400 \text{ с/сутки}) / \{(1,3) \cdot (10^3 \text{ м}^3) \cdot (1000 \text{ кг/м}^3) \cdot [4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}]\} = 0,0154 \text{ К/Вт}$.
Удельное термическое сопротивление $r = R \cdot S$ $r = 0,0154 \cdot 200 = 3,1 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$.

Изоляционный материал имеет теплопроводность $\lambda = 0,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Требуемая толщина покрытия на верхней крышке ёмкости $d = r \cdot \lambda \cdot d = (3,1 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}) \cdot [0,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}] = 0,124 \text{ м}$. Плотность энергии, запасённой в аккумуляторе $Q_{\text{тр}} / m$

$$Q_{\text{тр}} / m = (8640 \text{ МДж}) / (103 \text{ м}^3) = 84 \text{ МДж/м}^3$$

К задаче 13.

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 $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Решение:

Дано: $R = 7,5 \text{ м}$; $V_0 = 9 \text{ м/с}$; $V_2 = 5 \text{ м/с}$. Скорость V_1

$$V_1 = (V_0 + V_2) / 2$$

$$V_1 = (9 + 5) / 2 = 7 \text{ м/с}$$

Мощность ветрового потока: $P_0 = \rho \cdot S \cdot V_0^3 / 2$

$$S = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 7,5^2 = 176,6 \text{ м}^2$$

$$P_0 = 1,2 \cdot 176,6 \cdot 9^3 / 2 = 77256 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2 \text{ (Дж)}$$

Масса воздуха, проходящего через ометаемую поверхность:

$$m = \rho \cdot S \cdot V_0 \quad m = 1,2 \text{ кг/м}^3 \cdot 176,6 \text{ м}^2 \cdot 9 \text{ м/с} = 1907,3 \text{ кг/с}$$

Сила, действующая на ветроколесо: $F_A = m \cdot (V_0 - V_2)$ $F_A = 1907,3 \text{ кг/с} \cdot 4 \text{ м/с} = 7629 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2$. Мощность ВЭУ равна той мощности, которую теряет ветер при прохождении ветроколеса: $P = m \cdot (V_0^2 - V_2^2)$ $P = 1907,3 \cdot (9^2 - 5^2) = 106808 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^3 = 106808 \text{ Вт}$.

К задаче 14.

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 .

Решение

Рабочей жидкостью является вода. Размер лопасти колеса $r < R / (10-12)$. Положим $r = R / 12$.

Коэффициент быстроходности

$$x = r / [R \cdot 0,68 (n \cdot \eta)^{-1/2}]$$

$$x = R / [R \cdot 12 \cdot 0,68 \cdot (1 \cdot 0,9)^{-1/2}] = 0,11$$

Определим оптимальную угловую скорость:

$$\omega = x \cdot \rho^{1/2} (g \cdot H)^{5/4} \cdot P^{-1/2}$$

$$\omega = (0,11 \cdot 31,6 \cdot 3860) / 400 = 34 \text{ рад/с}$$

Тогда диаметр D колеса турбины:

$$D = V / \omega$$

$$V = (2g \cdot H)^{1/2}$$

$$V = (19,6 \cdot 81) = 40 \text{ м/с}$$

$$D = 40/34 = 1,18 \text{ м}$$

К задаче 15.

Определить объём биогазогенератора V_6 , и суточный выход биогаза $V_г$, получаемого с помощью биогазогенератора, утилизирующего навоз n коров, а также обеспечиваемую ею тепловую мощность N . Время пребывания очередной порции в биогенераторе t_r суток при температуре $t = 25^\circ\text{C}$; подача сухого сбраживаемого материала от одного животного идёт со скоростью V_m , кг/сутки; выход биогаза из сухой массы C м³/кг. Содержание метана в биогазе составляет $f = 0,7$. КПД горелочного устройства η . Плотность сухого материала, распределённого в массе биогазогенератора, $\rho = 50 \text{ кг/м}^3$. Теплота сгорания метана при нормальных физических условиях $Q_{нр} = 28 \text{ МДж/м}^3$

Решение:

Дано: $n = 18$; $t_r = 14$ суток; $t = 25^\circ\text{C}$; $V_m = 2 \text{ кг/сутки}$; $C = 0,24 \text{ м}^3/\text{кг}$; $\eta = 0,68$; $t_r = 14$ суток; $\rho = 50 \text{ кг/м}^3$; $Q_{нр} = 28 \text{ МДж/м}^3$. Найти: V_6 ; $V_г$; $N(\text{Вт})$.

Подача сухого сбраживаемого материала от 18 животных идёт со скоростью 2 кг/сут:

$$m_0 = V_m \cdot n$$

$$m_0 = 2 \cdot 18 = 36 \text{ кг/сутки};$$

Суточный объём жидкой массы составляет:

$$V_{ж} = m_0 \cdot \rho$$

$$V_{ж} = 36 \text{ кг/сут.} / 50 \text{ кг/м}^3 = 0,72 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$\text{Объём биогазогенератора } V_г = t_r \cdot V_{ж} \quad V_г = 14 \text{ сут.} \cdot 0,72 \text{ м}^3/\text{сут.} = 10,08 \text{ м}^3$$

Суточный выход биогаза $V_b = C \cdot m_0$ $V_b = 0,24 \cdot 36 = 8,64 \text{ м}^3/\text{сутки}$ Тепловая мощность N , Вт: $N = \eta \cdot Q_{нр} \cdot V_b \cdot f$ $N = 0,68 \cdot 28 \cdot 8,64 \cdot 0,7 = 115 \text{ МДж/сут.} = 31,97 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут.}$

К задаче 16.

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.

Решение

Дано: $M = 1000 \text{ кг}$, $D = 180 \text{ см}$, $n = 3000 \text{ об/мин}$, $P = 20 \text{ кВт}$. Кинетическая энергия маховика при максимальной скорости:

$$E = I \cdot \omega^2 / 2, \quad I = M \cdot a^2 / 2, \quad \text{где } a = R \text{ (радиус маховика)}, \quad \omega = 2\pi \cdot n / 60 \quad \omega = 6,28 \cdot 3000 / 60 = 314 \text{ рад/с}$$

$$E = 1000 \cdot 0,9^2 \cdot 314^2 / 4 = 20 \text{ МДж},$$

Среднее значение время между подключениями электродвигателя для зарядки: $t = E / P = 200000000 \text{ Дж} / 20000 \text{ Дж/с} = 10000 \text{ сек.} = 16,7 \text{ мин.}$

К задаче 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 .

Решение:

Дано: $D = 5 \text{ см}$; $L = 100 \text{ м}$; $X = 1 \text{ см}$; $T_{\text{ср}} = 10^\circ\text{C}$; теплопроводность стекловаты $\lambda = 0,04 \text{ Вт/м}\cdot\text{K}$.

Потери тепла вдоль трассы: $P_{\text{т}} = \lambda \cdot A \cdot \Delta T / X$, где A – площадь теплоотдачи $A = \pi \cdot D \cdot L$, м^2 $A = \pi \cdot 0,05 \cdot 100 = 15,7 \text{ м}^2$

$$P_{\text{т}} = 0,04 \cdot 15,7 \cdot (100 - 10) / (0,01) = 5652 \text{ Вт} = 5,7 \text{ кВт.}$$

К задаче 18.

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 $A_{\text{р}}$ в отсутствие потерь, если производительность завода 65000 бутылок за 8 часовую рабочую смену. Облучённость приёмника G , МДж/м^2 за 8 часов, $\tau = 1$; $\alpha = 1$; $r = \infty$.

Решение.

Дано: Облучённость приёмника $G = 20 \text{ МДж/м}^2$ за 8 часов, $c = 50 \text{ л}$. Поток тепла при нагревании массы жидкости m :

$$Q_{\text{ж}} = m \cdot c \cdot dT/dt$$

$$Q_{\text{ж}} = \tau \cdot \alpha \cdot A_{\text{р}} \cdot G - [(T_{\text{р}} - T_0)/r] m \cdot c \cdot dT/dt = \tau \cdot \alpha \cdot A_{\text{р}} \cdot G - [(T_{\text{р}} - T_0)/r], \text{ т.к. } r = \infty.$$

$$m \cdot c \cdot dT/dt = \tau \cdot \alpha \cdot A_{\text{р}} \cdot G$$

Отсюда

$$A_{\text{р}} = m \cdot c \cdot dT/dt / \tau \alpha G,$$

где $G = 20 \text{ МДж/м}^2$ за 8 часов.

$$1 \text{ кВт} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж/сек} \text{ Тогда } G = 20 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^2 / 8 \text{ час} / 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж/сек} = 0,694 \text{ кВт/м}^2 = 700 \text{ Вт/м}^2$$

$$A_{\text{р}} = 65000 \cdot 50 \cdot (70 - 40) / 8 \cdot (700 \cdot 1 \cdot 1) = 17410 \text{ м}^2.$$

К задаче 19

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

Решение:

Дано: длина волны $\lambda = 100 \text{ м}$; амплитуда $a = 1,5 \text{ м}$.

Из выражения: $\lambda = 2\pi \cdot g / \omega^2$; $\omega^2 = 2\pi g / \lambda$ $\omega^2 = 2\pi \cdot 10 \text{ м}^2 / \text{с}^2 / 100 \text{ м} = 0,628 \text{ с}^{-2}$ $\omega = 0,8 \text{ с}^{-1}$ Период движения волны $T = 2\pi / \omega$ $T = 6,28 / 0,8 = 8 \text{ с}$ Фазовая скорость волны $c = \omega \cdot \lambda / 2\pi$ $c = 0,8 \cdot 100 / 6,28 \approx 13 \text{ м/с}$ Групповая скорость $u = c/2$ $u = 13/2 = 6,5 \text{ м/с}$ Мощность волны на единицу ширины волнового фронта $P = \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot c / 4$ $P = 1027 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 2,25 \text{ м}^2 \cdot 13/4 = 73672 \text{ Вт/м} \approx 73,7 \text{ кВт/м}$.

К задаче 20

Рассчитайте полезное теплосодержание E_0 на 1 км^2 сухой скальной породы (гранит) до глубины z , км. Температурный градиент равен G °С/км. Минимальная допустимая температура, превышающая поверхностную, 140 К , плотность гранита, $\rho_g = 2700 \text{ кг/м}^3$, теплоёмкость гранита $c_g = 820 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$. Чему равна постоянная времени, τ , извлечения тепла при использовании в качестве теплоносителя воды, если объёмная скорость v , $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$? Какова будет тепловая мощность, извлекаемая первоначально $(dE/dt)_{\tau=0}$ и через 10 лет?

Решение:

Дано: $z = 7 \text{ км}$; $G = 40^\circ \text{С/км}$; $v = 1 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$. На глубине 7 км температура T_2 превышает температуру среды T_0 на 280 К . Минимальная допустимая температура на 140 К превышает T_0 на глубине $3,5 \text{ км}$.

Исходя из выражения $E_0 = \rho_g A c_g (z_2 - z_1)^2 / 2$, где A – площадь, 1 км^2 ; $z_1 z_2$ – глубины, км, получим $E_0/A = \rho_g \cdot c_g (z_2 - z_1)(T_2 - T_1)/2$ $E_0/A = 2700 \cdot 820 \cdot (3,5 \text{ км}) \cdot (70 \text{ К}) = 5,42 \cdot 10^{17} \text{ Дж/км}^2$, $(z_2 - z_1) = 3,5 \text{ км}$, $(T_2 - T_1)/2 = 70 \text{ К}$

Постоянная времени τ определяется $\tau = \rho_g \cdot c_g \cdot A (z_2 - z_1) / (\rho_v c_v \cdot v)$ $\tau = 2700 \cdot 820 \cdot 3,5 \cdot 1 / (1 \cdot 1000 \cdot 4200) = 1,84 \cdot 10^9 \text{ с} = 58 \text{ лет}$ Тепловая мощность : первоначальная $dE/dt = -(E_0/\tau) \cdot e^{-t/\tau}$ $(dE/dt)_{t=0} = (5,42 \cdot 10^{17} \text{ Дж/км}^2) / (1,84 \cdot 10^9 \text{ с}) = 294 \text{ МВт/км}^2$ через 10 лет $(dE/dt)_{t=10 \text{ лет}} = 294 \exp(-10/58) = 247 \text{ МВт/км}^2$.

К задаче 21

Определить начальную температуру t_2 и количество геотермальной энергии E_0 (Дж) водоносного пласта толщиной h км при глубине залегания z км, если заданы характеристики породы пласта: плотность $\rho_{гр} = 2700 \text{ кг/м}^3$; пористость a %; удельная теплоёмкость $c_{гр} = 840 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$. Температурный градиент (dT/dz) °С/км. Среднюю температуру поверхности t_0 принять равной 10°С . Удельная теплоёмкость воды $c_v = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$; плотность воды $\rho_v = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Расчёт произвести по отношению к плоскости поверхности F км^2 . Минимально допустимую температуру пласта принять равной $t_1 = 40^\circ \text{С}$. Площадь $F = 1 \text{ км}^2$. Определить постоянную времени извлечения тепловой энергии $t_0(\text{лет})$ 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?

Решение

Дано: $h = 3 \text{ км}$; $z = 500 \text{ м}$; $a = 5\%$; $dT/dz = 30^\circ \text{С/км}$; $V = 100 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$.

Первоначальная температура $t_2 = t_0 + (dT/dz \cdot h)$ $t_2 = 10^\circ\text{C} + (30^\circ\text{C}/\text{км} \cdot 3\text{км}) = 100^\circ\text{C}$;

Теплоёмкость водоносного пласта $C_a = [a \cdot \rho_v \cdot c_v + (1 - a) \rho_{гр} \cdot c_{гр}]z$ $C_a = (0,05 \cdot 1000 \cdot 4200 + 0,95 \cdot 2700 \cdot 840) \cdot 500 = 1,18 \cdot 10^9 \text{ Дж/К} \cdot \text{м}^2 = 1,18 \cdot 10^{15} \text{ Дж/К} \cdot \text{км}^2$

$E_0/A = C_a \cdot (t_2 - t_1)$ $E_0/A = 1,18 \cdot 10^{15} [(100 - 40)^\circ\text{C}] = 70,8 \cdot 10^{15} \text{ Дж/км}^2 \approx 0,71 \cdot 10^{17} \text{ Дж/км}^2$.

Постоянная времени извлечения тепловой энергии $\tau_a = C_a / (V \cdot \rho_v \cdot c_v) = [a \cdot \rho_v \cdot c_v + (1 - a) \cdot \rho_{гр} \cdot c_{гр}]z / (V \cdot \rho_v \cdot c_v)$ $\tau_a = 1,18 \cdot 10^{15} / (0,1 \cdot 1000 \cdot 4200) = 2,8 \cdot 10^9 \text{ с} = 90 \text{ лет}$.

Тепловая мощность:

первоначальная $dE/dt_{t=0} = -(E_0/\tau_a) \exp(-t/\tau_a)$ $dE/dt_{t=0} = 0,71 \cdot 10^{17} / 2,8 \cdot 10^9 \text{ с} = 25 \text{ МВт/км}^2$ через 10 лет $dE/dt_{t=10\text{лет}} = (dE/dt_{t=0}) \exp(-10/\tau_a)$ $dE/dt_{t=10\text{лет}} = 25 \text{ МВт/км}^2 \cdot \exp(-10/90) = 22 \text{ МВт/км}^2$.

К задаче №22

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

Решение.

Дано: $n = 263$; $F_{\Gamma} = 58 \text{ м}^2$; $N_{\text{пр}} = 2,5 \text{ МВт/м}^2$; $K_{\Gamma} = 0,8$; $\alpha_{\text{пог}} = 0,95$; $G_{\Gamma} = 600 \text{ Вт/м}^2$; $t = 660^\circ\text{C}$; $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,95$. Найти: $F_{\text{пр}}$; $q_{\text{луч}}$; $q_{\text{конв}}$. Энергия, полученная приемником от солнца через гелиостаты, может быть определена по уравнению:

$$Q = K_{\Gamma} \cdot \alpha_{\text{пог}} \cdot F_{\Gamma} \cdot G_{\Gamma} n$$

$$Q = 0,8 \cdot 0,95 \cdot 58 \cdot 600 \cdot 263 = 6955824 \text{ Вт}$$

где G_{Γ} - облученность зеркала гелиостата, Вт/м^2 ; F_{Γ} - площадь поверхности гелиостата, м^2 ; n - количество гелиостатов; K_{Γ} - коэффициент отражения зеркала концентратора; $\alpha_{\text{пог}}$ - коэффициент поглощения приемника. Площадь поверхности приемника может быть определена, если известна энергетическая освещенность на нем $N_{\text{пр}} \text{ Вт/м}^2$

$F_{\text{пр}} = Q/N_{\text{пр}}$ $F_{\text{пр}} = 6955824/2500000 = 2,782 \text{ м}^2$ В общем случае температура на поверхности приемника может достигать $t_{\text{пов}} = 1160 \text{ К}$, что позволяет нагреть теплоноситель до 700°C . Потери тепла за счет излучения в теплоприемнике можно вычислить по закону Стефана-Больцмана:

$g_{\text{луч}} = \varepsilon_{\text{пр}} \cdot C_0 \cdot (T/100)^4$ $g_{\text{луч}} = 0,95 \cdot 5,67 \cdot (933/100)^4 = 4,08 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$ где T - абсолютная температура теплоносителя, $T = (t+273)$ $T = (660+273) = 933 \text{ К}$ $\varepsilon_{\text{пр}} -$

степень черноты серого тела приемника; C_0 - коэффициент излучения абсолютно черного тела. Конвективные потери $q_{\text{конв.}} = q_{\text{луч.}}/2$ $q_{\text{конв.}} = 4,08 \cdot 10^4/2 = 2,04 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$ Тепловые потери, вызванные излучением и конвекцией $q = q_{\text{конв.}} + q_{\text{луч.}}$ $q = 4,08 \cdot 10^4 + 2,04 \cdot 10^4 = 6 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$

К задаче 23

Рассчитать площадь солнечного опреснителя S , 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 МДж/кг , КПД – $\eta = 0,85$

Решение.

Дано: $V = 400000 \text{ т}$; $M = 4890 \text{ МДж/м}^2 \text{ год}$. Найти S , м^2 . Переводной коэффициент – $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \text{ МДж}$. Определим облучённость дистиллятора M $260 = 4890 \cdot 260 = 18,8 \text{ МДж м}^2 \text{ день}$. Если всё солнечное тепло расходуется на испарение и конденсируется вся испарённая влага, то производительность идеального дистиллятора составит $18,8/2,4 = 7,8 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{день}$. С учётом КПД $\eta = 0,85$ производительность уменьшится $7,8 \cdot \eta = 7,8 \cdot 0,85 = 6,63 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{день}$. Площадь дистиллятора с учётом тепловых потерь составит $V/6,63 \text{ кг/м}^2$ $400000000 \text{ кг}/6,63 \text{ кг/м}^2 = 60332000 \text{ м}^2$. Если ширину дистиллятора принять 3000 м, то его длина $60332000 \text{ м}^2/3000 \text{ м} = 20110 \text{ м}$. Дистиллятор можно сделать один, а можно сделать несколько. Считается, что активная фаза солнечного излучения длится 8 час в сутки, а 16 часов дистиллятор простаивает. Для того, чтобы активизировать дистиллятор в оставшееся время, можно по дну дистиллятора проложить ТЭНы. Для их обеспечения электроэнергией построить ветропарк. В этом случае площадь

3 Рекомендуемые темы презентаций

1. Комплексная система геотермального теплоснабжения
2. Системы аккумулирования тепловой энергии
3. Энергетическое хозяйство промышленно развитых стран
4. Ресурсная обеспеченность мировой энергетики и перспективы ее развития
5. Современное состояние энергетики Казахстана
6. Место нетрадиционных источников в удовлетворении энергетических потребностей человека
7. Антропогенная деятельность и ее влияние на экологию
8. Физические основы процессов преобразования солнечной энергии
9. Типы солнечных коллекторов и принципы их действия
10. Солнечные тепловые станции (СТЭС)
11. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС)
12. Типы солнечных батарей
13. Зарядка и подзарядка аккумуляторов
14. Запасы энергии ветра и возможности ее использования
15. Ветроэлектростанции
16. Источники геотермального тепла. Способы и методы его использования в мире
17. Привообразующие силы Луны и Солнца
18. Энергетические ресурсы океанов
19. Приливные электростанции
20. Состояние использования энергии океанов в мире
21. Система определений, понятий и классификация вторичных энергетических ресурсов
22. Определение выхода и использования ВЭР
23. Определение экономии топлива от использования ВЭР
24. Технологии использования ВЭР при эксплуатации и их учет при проектировании
25. Антропогенная деятельность и ее влияние на экологию
26. Основные направления экологической политики при развитии ТЭК
27. Виды вредностей и их воздействие на человека
28. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны
29. Охрана атмосферного воздуха от загрязнений промышленными предприятиями
30. Инвентаризация выбросов в атмосферу загрязняющих веществ тепловых электростанций и котельных
31. Организация контроля выбросов в атмосферу на тепловых электростанциях и в котельных
32. Физические основы процессов преобразования солнечной энергии

- 33. Типы солнечных коллекторов и принципы их действия
- 34. Солнечные тепловые электростанции (СТЭС)
- 35. Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС)
- 36. Типы солнечных батарей
- 37. Запасы энергии ветра и возможности ее использования
- 38. Расчет идеального и реального ветряка
- 39. Источники геотермального тепла. Способы и методы его использования в мире
- 40. Использование геотермального тепла в Казахстане
- 41. Конструктивные особенности ГЕОЭС России и перспективы их развития
- 42. Приливообразующие силы Луны и Солнца
- 43. Энергетические ресурсы океанов
- 44. Приливные электростанции
- 45. Состояние использования энергии океанов в мире
- 46. Специфика энергетического расчета ПЭС
- 47. Непосредственное использование в графике нагрузки энергоотдачи приливов
- 48. Использование ПЭС в комплексе с ГЭС (ГАЭС)

Заключение

Экологические проблемы и ограниченность запасов углеводородного топлива вынуждают искать новые виды энергоресурсов и новые технологии энергообеспечения потребителей. Возобновляемая энергетика на сегодняшний день является наиболее динамично развивающимся направлением электро- и теплоэнергетики. Возобновляемые ресурсы имеют особое значение в децентрализованных системах электроснабжения. Реальной возможностью улучшения технико-экономических показателей локальных систем электроснабжения является использование местных, возобновляемых энергоресурсов.

В учебном пособии рассмотрены энергетические характеристики основных видов природных возобновляемых источников энергии: солнечного излучения, ветра, потоков воды, геотермальных вод, биомассы и способы их преобразования в электроэнергию. Также рассмотрены способы аккумулирования тепла. Рассмотрены установки для опреснения воды. Значительное внимание уделено вопросам повышения энергоэффективности преобразования первичного энергоресурса и рациональному построению автономных систем электроснабжения с использованием электростанций, использующих различные виды возобновляемых источников энергии.

Для оценки качества усвоенного материала приведены контрольные задания по вариантам и рекомендуемые темы презентаций.

Список использованных источников

- 1 Горяев, А.А и др. Возобновляемые источники энергии [Текст]: учебно-методическое 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: Издательство САФУ, 2015.
- 2 Ада, Роза. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы [Текст]: учебное пособие / пер. с англ. Под редакцией С.П. Малышенко, О.С. Попеля. – Долгопрудный: Издат. дом «Интеллект»; М.: Издат. дом МЭИ; 2010. – 704с.
- 3 Горяев, А.А. Возобновляемые источники энергии [Текст]: учеб. пособие / А.А. Горяев, Г.А. Шепель. – Архангельск: САФУ, 2010. – 120с.
- 4 Хахалева, Л.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Текст]: пособие для проведения практических занятий / Л.В. Хахалева. – Ульяновск, 2008. – 32с.
- 5 Брызгалов, В. И. Гидроэлектростанции [Текст]: учеб. пособие / В.И. Брызгалов, Л.А. Гордон. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. – 541с.
- 6 Барбара, Эдер, Хайнц, Шульц. Биогазовые установки [Текст]: практическое пособие. / Эдер Барбара, Шульц Хайнц // Перевод с немецкого выполнен компанией Zorg Biogas в 2011 г. Под научной редакцией И. А. Реддих, 1996 г. – 268 с.
- 7 Бекман, Г., Гилли, П. Тепловое аккумулирование энергии [Текст]: Пер. с англ. / Бекман Г., Гилли П. – М.: Мир, 1987. — 272 с., ил.
- 8 Буг, Д.Л., Алиевский, Б.Л., Мизюрин, С.Р., Васкжсвич, П.В. Накопители энергии [Текст]: Учеб. Пособие для вузов / Д.Л. Буг, Б. Л. Алиевский, С.Р. Мизюрин. П.В. Васкжсвич: Под ред. Д.А. Бута. - М.: Энергоатомиздат, 1991. – 400 с.
- 9 Слесаренко, В.Н. Опреснение морской воды [Текст] / Слесаренко В.Н. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 278с.
- 10 Слесаренко, В.Н. Опреснение воды – проблема современности [Текст] // Человек, море, техника. Л.: Судостроение, 1987. Вып. 4. С. 112-124.
- 11 Колодин М.В., Сейиткурбанов С. Опреснение соленых вод [Текст] / М.В. Колодин, С. Сейиткурбанов – Ашхабад Ылым, 1973.
- 12 Колодин, М. В. Экономика опреснения воды [Текст] / М.В. Колодин. – М.: Наука, 1986.
- 13 Берман, Э. Геотермальная энергия [Текст], Перевод с английского под редакцией Б.Ф. Марвицкого / Э. Берман. – М.: издательство «Мир», 1978.
- 14 Muffler L.J., White D.E., Geothermal Energy [Text] / L.J. Muffler, D.E. White. – The Science Teacher, 1972.
- 15 Бернштейн, Л.Б. Приливные электростанции [Text] / Л. Б. Бернштейн, В. Н. Силаков, С. Л. Гельфер и др.; под ред. доктора техн. наук Л. Б. Бернштейна. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 296 с.: ил.

[illegible]