

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования

**«Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова»**

Институт энергетики и транспорта

Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии

Учебно – методическое пособие по выполнению расчётно – графических и контрольных работ.

Архангельск - 2015 г.

Рассмотрены и рекомендованы к изданию методической комиссией института энергетики и транспорта САФУ

Рецензенты:

1. Генеральный директор ООО «Архангельское специализированное энергетическое предприятия» Шилкин Г.В.
2. Доцент кафедры электроснабжения САФУ, к.т.н. Баланцев А.Р.
3. Заместитель директора ЗАО «Инженерный центр «Энергосервис», доцент, к.т.н. Шумилов А.А.
4. Главный энергетик «Приморского» филиала ОАО «АрхоблЭнерго»

Федосеев А.В.

УДК 620.92/8

Горяев А.А и др. Возобновляемые источники энергии: учебно – методическое пособие по решению контрольных задач по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»/ Горяев А.А., , Петухов С.В., Баланцева Н.Б., Бутаков С.В.. – Архангельск: Издательство САФУ, 2015г. – 100. Дисциплина входит в профессиональный цикл бакалавриата Б1., направление подготовки бакалавра 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль «Энергообеспечение предприятий». Преподаётся в 3 семестре обучения.

В учебно – методическом пособии приведены основные теоретические положения, контрольные задачи, примеры и методика их решения.

Предназначены для студентов института энергетики и транспорта по направлениям подготовки 13.03.01 «Энергообеспечение предприятий» и «Теплоэнергетика», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» дневной и заочной форм обучения. Табл.. Библиограф. назв. 7

© Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2015.

1. ВВЕДЕНИЕ

Энерговооруженность общества - основа его научно - технического прогресса, база развития производительных сил. Ее соответствие общественным потребностям – важнейший фактор экономического роста. Развивающееся мировое хозяйство требует постоянного наращивания энерговооруженности производства и социальной стороны человечества. Энергообеспечение должно быть надежно и с расчетом на отдаленную перспективу.

Традиционные источники энергии - невозобновляемые (нефть, уголь, газ) истощаются и уже сейчас не могут с расчетом на перспективу обеспечить будущее человечества. Кроме того, они несут угрозу экологической безопасности Земли.

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.

К нетрадиционным источникам энергии относятся: использование солнечной энергии, ветровой энергии, гидроэнергетики, энергии океана, приливов, энергии биомассы, геотермальная энергия и т.д.

В учебно – методическом пособии приводятся основы расчётов задач по нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии.

2. ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА

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

$$Q_c = \tau_{пр} \cdot \alpha_{пр} \cdot A_{п} \cdot G, \text{ Вт}, \quad (2.1)$$

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;

$\alpha_{пр}$ - 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:

$$Q_T = A_{п} \cdot (T_{пр} - T_{ср})/R_T, \text{ Вт}, \quad (2.2)$$

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):

$$Q_{\Sigma} = \tau_{пр} \cdot \alpha_{пр} \cdot A_{п} \cdot G - [(T_{пр} - T_{ср})/R_T] = \eta_{и} \cdot A_{п} \cdot G, \quad (2.3)$$

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

Коэффициент $\eta_{и}$ определяет долю суммарного потока Q_{Σ} , передаваемую жидкости. В приёмниках хорошего качества разность между температурами приёмной площадки и жидкости мала и коэффициент теплопередачи лишь

немного меньше единицы. Таким образом, поток тепла от приёмника солнечного излучения к теплоносителю определяется соотношением

$$Q_{ж} = k Q_{\Sigma}, \quad (2.4)$$

Поток тепла при нагревании массы жидкости m :

$$Q_{ж} = m \cdot c \cdot dT_{ж}/dt, \quad (2.5)$$

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

c - теплоёмкость жидкости, Дж/(кг К).

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

$$Q_{ж} = m_1 \cdot c (T_2 - T_1), \quad (2.6)$$

где T_1 - температура входящей жидкости в приемник, °С;

T_2 - выходящей, °С;

m_1 - массовый расход жидкости в трубе, кг/с.

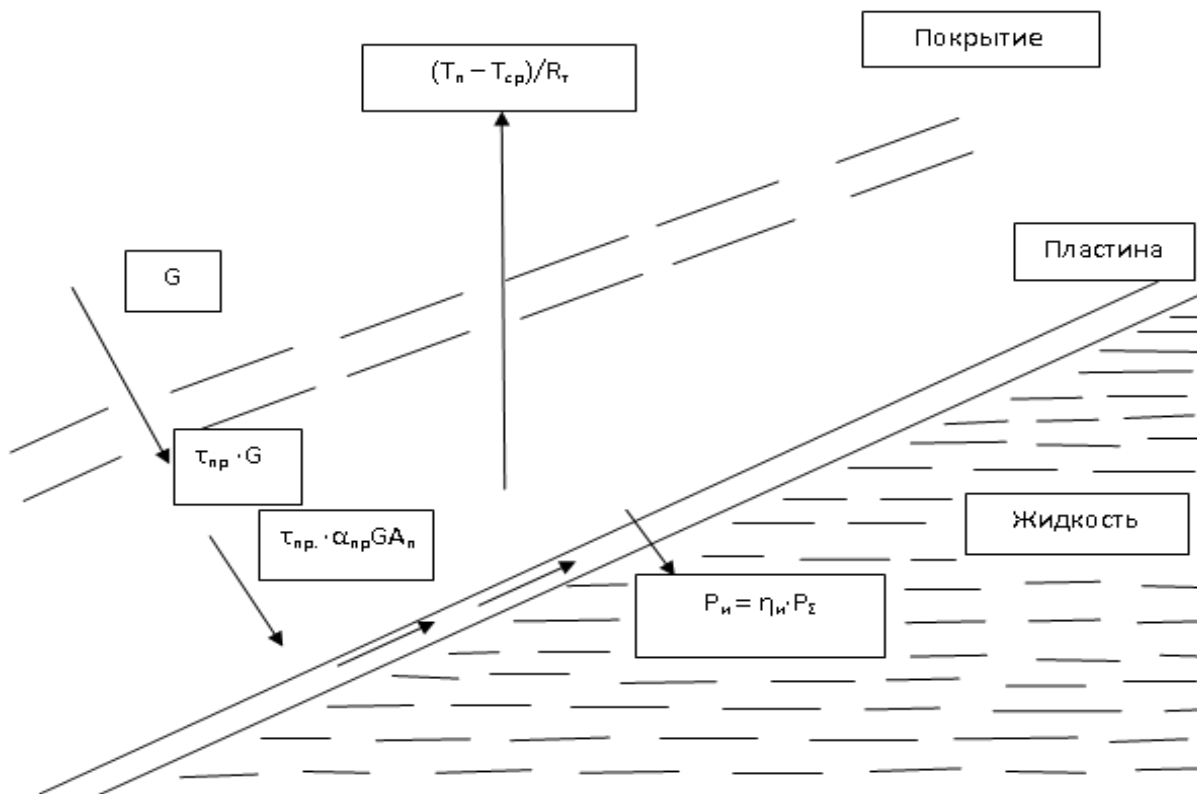


Рисунок 1 - Схема нагрева жидкости в коллекторе солнечным излучением

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

$$q = \Delta T / r, \text{ Вт/м}^2, \quad (2.7)$$

$$Q = q \cdot A = \Delta T \cdot A / r, \text{ Вт} \quad (2.8)$$

$$R_r = r / A, \text{ К/Вт}, \quad r = R \cdot A, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \quad (2.9)$$

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

$$q = \alpha \cdot \Delta T, \quad (2.10)$$

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

$$\alpha = 1 / r, \quad (2.11)$$

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:

$$Q = - \lambda \cdot A_n \cdot \Delta T / \Delta \quad (2.12)$$

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

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

$$R_n = \Delta x / \lambda A_n \quad (2.13)$$

и удельное термическое сопротивление:

$$r_n = R_n \cdot A_n = \Delta x / \lambda, \quad (2.14)$$

У неподвижного воздуха

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

Время, необходимое для повышения температуры:

$$\Delta t = \Delta T / (dT_{ж} / dt), \text{ с} \quad (2.15)$$

$$C_{ж} = m \cdot c, \quad (2.16)$$

где $C_{ж}$ - теплоёмкость жидкости;
 c - удельная теплоёмкость;
 m - масса жидкости.

Уравнение теплового баланса для рис. 2.1.

$$m \cdot c \cdot dT_{ж}/dt = \tau_{пр} \alpha_{п-с} \cdot A \cdot G - (T_{ж} - T_{ср}) / R_{п} \quad (2.17)$$

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

$$R_{п} = [(1/R_{к,п-с}) + (1/R_{из,п-с})]^{-1}, \text{K/Вт}, \quad (2.18)$$

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

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

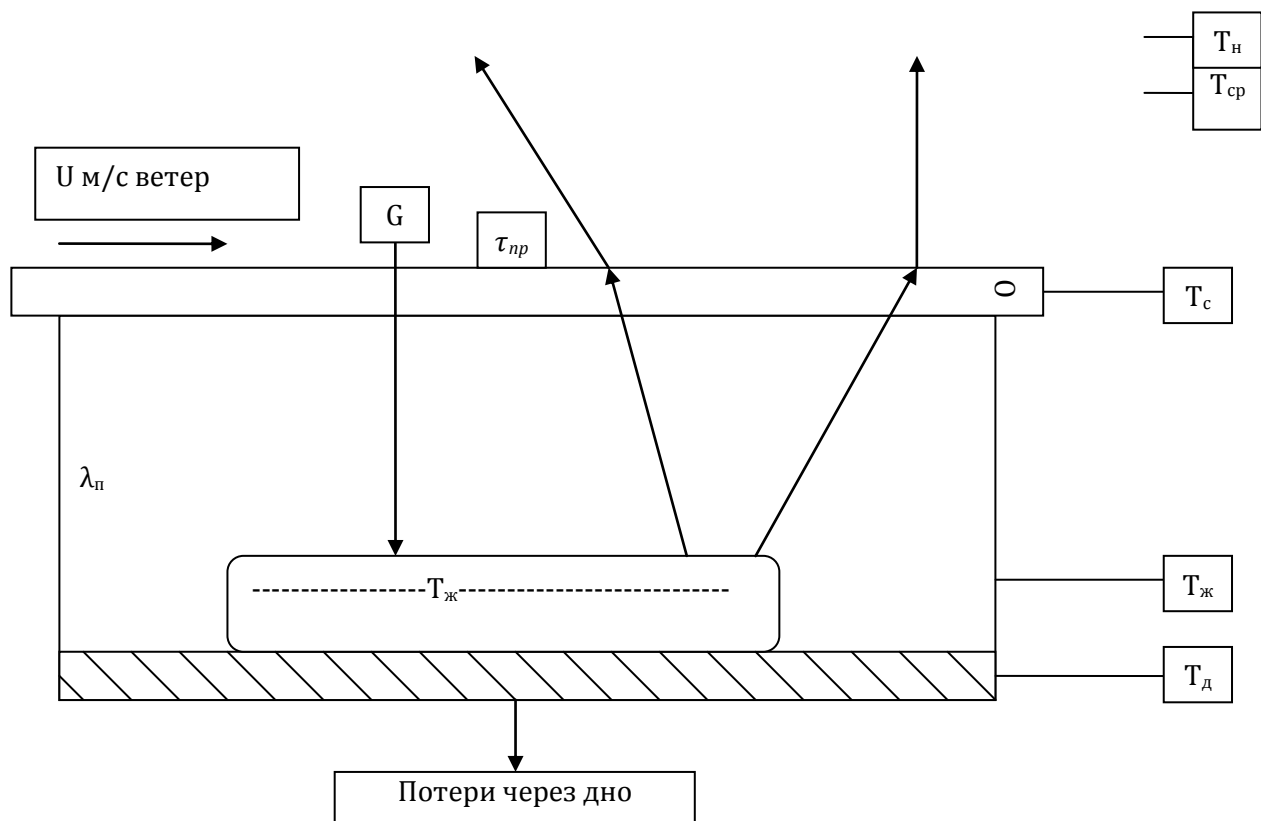


Рисунок 2.2 - Закрытый чёрный нагреватель

T - температура: $T_{н}$ - неба, $T_{ср}$ - среды, $T_{с}$ - стекла, $T_{ж}$ - жидкости, $T_{д}$ - дна.

Полное термическое сопротивление промежутка приёмная поверхность нагревателя – стеклянная крышка:

$$R_{\text{п}} = [(1/R_{\text{к-с}}) + (1/R_{\text{из-с}})]^{-1}, \text{ К/Вт}, \quad (2.19)$$

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:

$$P_{\text{и}} = \rho \cdot c \cdot Q_{\text{р}} \cdot (T_2 - T_1), \quad (2.20)$$

где ρ - плотность воздуха, 1,2 кг/м³;

c - теплоёмкость воздуха, 1 кДж / (кгК);

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

$Q_{\text{р}}$ – объёмный расход воздуха, м³.

Зерносушилки.

Абсолютная влажность зерна определяется по формуле:

$$W = (m - m_0) / m_0, \quad (2.21)$$

где m - текущая масса пробы;

m_0 - масса сухого вещества пробы.

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

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

$$m_v \cdot r = \rho \cdot c \cdot V (T_1 - T_2), \quad (2.22)$$

где r - удельная теплота парообразования воды, при $p = 0,1$ МПа и

$T = 100^\circ\text{C}$, $r = 2257$ кДж/кг.

Солнечные отопительные системы.

Тепловой баланс внутри здания описывается уравнением:

$$m \cdot c \cdot dT_r / dt = \tau_{пр} \cdot \alpha_n \cdot G \cdot A_n - (T_r - T_{cp}) / R_r, \quad (2.23)$$

где T_r – комфортная температура в помещении, $^\circ\text{C}$;

A_n – площадь приёмника, м^2 ;

G – интенсивность солнечного излучения, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Если температура в комнате постоянна, то:

$$\tau_{пр} \cdot \alpha_n \cdot G = (T_r - T_{cp}) / r, \quad (2.24)$$

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

α_n - коэффициент поглощения стенки, 0,8;

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

Температура воздуха в доме с течением времени определяется по формуле:

$$T_r - T_{cp} = (T_r - T_{cp})_{t=0} \exp[-t/(RC)], \quad (2.25)$$

где $R = r \cdot A_n^{-1}$;

$C = mc$

m - масса стенки, кг;

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

КПД солнечной батареи

$$\eta = P_{\text{и}}/A_{\text{п}} \cdot G \quad (2.26)$$

ЭДС солнечной батареи

$$E = P_{\text{и}}/I^2, \quad (2.27)$$

где I - величина тока, А.

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

Производительность солнечного дистиллятора Π определяется:

$$\Pi = G/r, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{день}, \quad (2.28)$$

где G - поток излучения, МДж/м² день;

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

3. ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

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

$$P = F \cdot R \cdot \omega, \quad (3.1)$$

где F - сила, действующая на лопасть.

Скорость набегающего потока:

$$U_c^2 = 2 \cdot g \cdot H, \text{ м/с}, \quad (3.2)$$

где H - напор, м.

Радиус колеса

$$R = \frac{1}{2} \cdot U_c / \omega, \text{ м}, \quad (3.3)$$

Размер лопасти r_l (радиус):

$$r_l = R / (10-12), \text{ м},$$

Максимальный КПД активных турбин $\eta = 0.9$.

Коэффициент быстроходности ξ :

$$\xi = P^{1/2} \omega / \rho^{1/2} (g \cdot H)^{5/4} = R_l / R \cdot 0,68 (n_i \cdot \eta)^{-1/2}, \quad (3.4)$$

где n_i - число сопел;

ρ - плотность воды.

Угловая скорость ω

$$\omega = \xi \cdot \rho^{1/2} (g \cdot H)^{5/4} P^{-1/2}, \text{ рад/с}, \quad (3.5)$$

где P – мощность турбины, Вт.

4. ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

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

$$m_1 = \rho \cdot S \cdot V_0, \text{кг/с} \quad (4.1)$$

где ρ - плотность воздуха, 1,2 кг/м³;

S - ометаемая площадь, πR^2 , м²;

V_0 - скорость ветра до ветроколеса, м/с.

Сила, действующая на ветроколесо:

$$F = m_1 \cdot (V_0 - V_2), (\text{кгм/с}^2), \quad (4.2)$$

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

Скорость ветра V_1 в плоскости ветроколеса:

$$V_1 = \frac{1}{2} \cdot (V_0 + V_2), \text{м/с.}, \quad (4.3)$$

Мощность ветрового потока:

$$P_0 = \rho \cdot S \cdot V_0^3 / 2, \text{Вт.}, \quad (4.4)$$

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

$$P = m(V_0^2 - V_2^2)/2, \text{ Вт.}, \quad (4.5)$$

Быстроходность ветроколеса:

$$Z = V_r/V_0 = R \cdot \omega/V_0, \quad (4.6)$$

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

ω - угловая скорость ветроколеса.

РАСЧЁТ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КАДАСТРА.

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

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

Основными характеристиками ветроэнергетического кадастра являются:

- 1 - среднегодовая скорость ветра;
- 2 – годовой и суточный ход ветра;
- 3 – повторяемость скоростей, типы и параметры функций распределения скоростей;
- 4 – максимальная скорость ветра;
- 5 – распределение ветровых периодов и периодов энергетических затиший по длительности;
- 6 – удельная мощность и удельная энергия ветра;

7 – ветроэнергетические ресурсы района

СРЕДНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА.

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

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

Среднегодовая скорость ветра определится:

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

где, V_m - среднемесячная скорость ветра, м/с.

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

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

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

Вертикальный профиль ветрового потока определяется по формуле:

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

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

V_{h2} – скорость ветра на высоте h_2 ;

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

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

Таблица 4.1.

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

По этим данным. можно определить среднемесячные и среднегодовые скорости ветра на разных высотах.

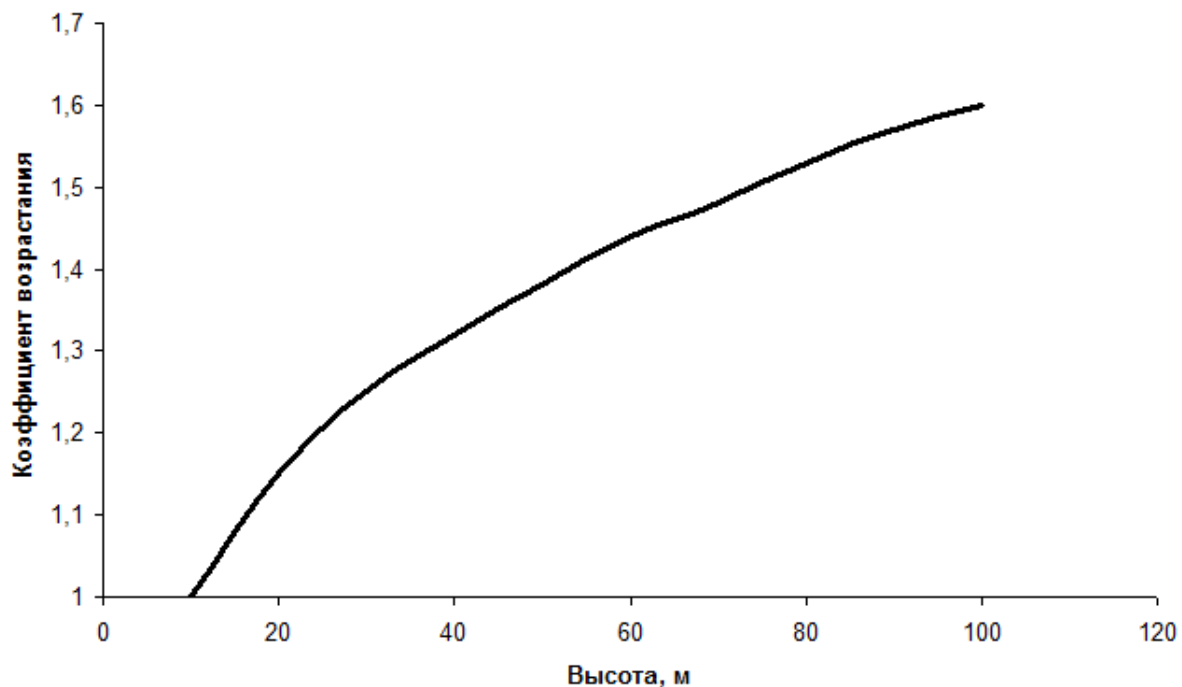


Рисунок 4.1. - Коэффициент возрастания средней скорости ветра в зависимости от высоты над землёй оси ветрового колеса.

ПОВТОРЯЕМОСТЬ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА

Повторяемость скоростей ветра является одной из важнейших кадастровых характеристик. Она показывает, какую часть времени в течении рассматриваемого периода дули ветры с той или иной скоростью. С помощью этой характеристики выявляется энергетическая ценность ветра и находятся основные энергетические показатели, определяющие эффективность и целесообразность использования энергии ветра.

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

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

Распределение рабочих периодов и периодов простоя ВЭУ по длительности.

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

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

$$\sum_{i=1}^{n_1} T_p + \sum_{i=1}^{n_2} T_{np} + \sum_{i=1}^{n_3} T_{np} = T \quad (4.9)$$

где n_1 – общее число рабочих периодов за год;

n_2 и n_3 – число периодов простоя соответственно при скорости ветра меньше $V_{\text{мин.р}}$ и больше $V_{\text{макс.р}}$; T – число часов в году – 8760.

Графически (рис. 4.2) $\sum_{i=1}^{n_1} T_p$ представляет собой площадь под кривой повторяемости ветра, ограниченную ординатами $V_{\text{мин.р}}$ и $V_{\text{макс.р}}$. Сумма

отсечённой площади есть время простоя ВЭУ.

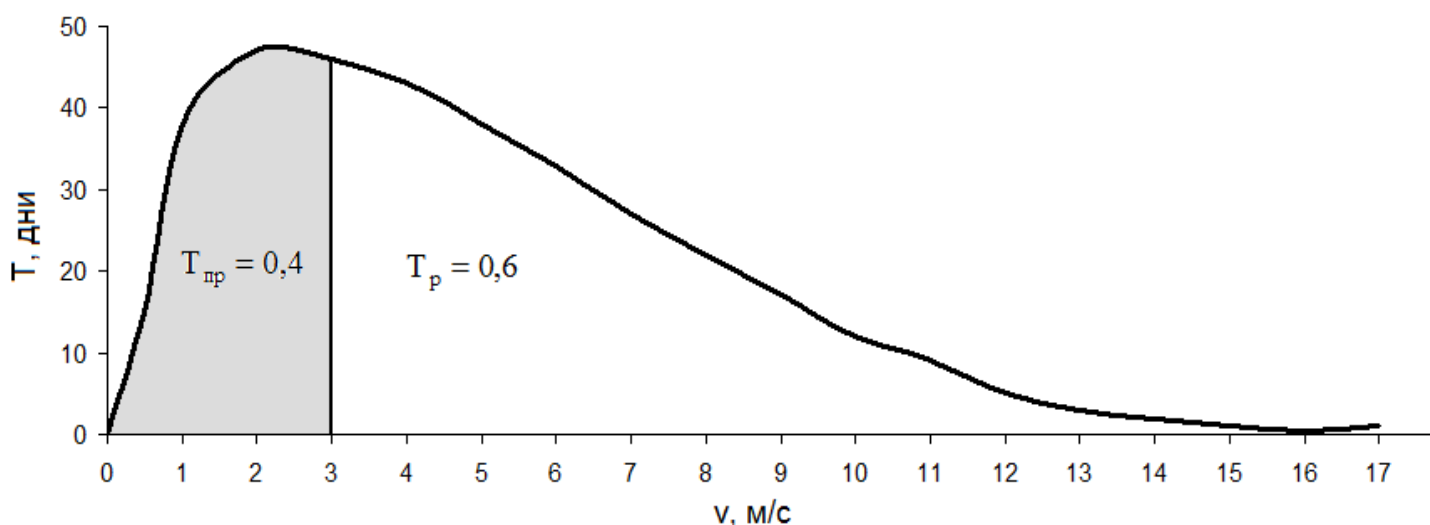


Рисунок 4.2.- Кривая повторяемости средней скорости ветра по Мезенской метеостанции № 45 на высоте 10 м за 10 лет (пример).

УДЕЛЬНЫЕ МОЩНОСТЬ И ЭНЕРГИЯ ВЕТРОВОГО ПОТОКА.

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

$$P_{уд.п} = \frac{\rho V_0^3}{2}. \quad (4.10.)$$

где V_0 – скорость воздушного потока, м/с;

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

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

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

где k – число градаций ветра;

T – число часов в году, 8760 ч.

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

Среднегодовая удельная мощность ветрового поток

$$P_{cp} = \frac{W_{уд}}{T} \quad (4.12)$$

Мощность ветроустановки:

$$P_{вэу} = \eta \xi P_{уд.n} A_0, \quad (4.13)$$

где η – коэффициент полезного действия, 0,85;

ξ – коэффициент ветроиспользования, 0,45;

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

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

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

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

Приложении № 5 приведены технические характеристики зарубежных и отечественных ветроустановок.

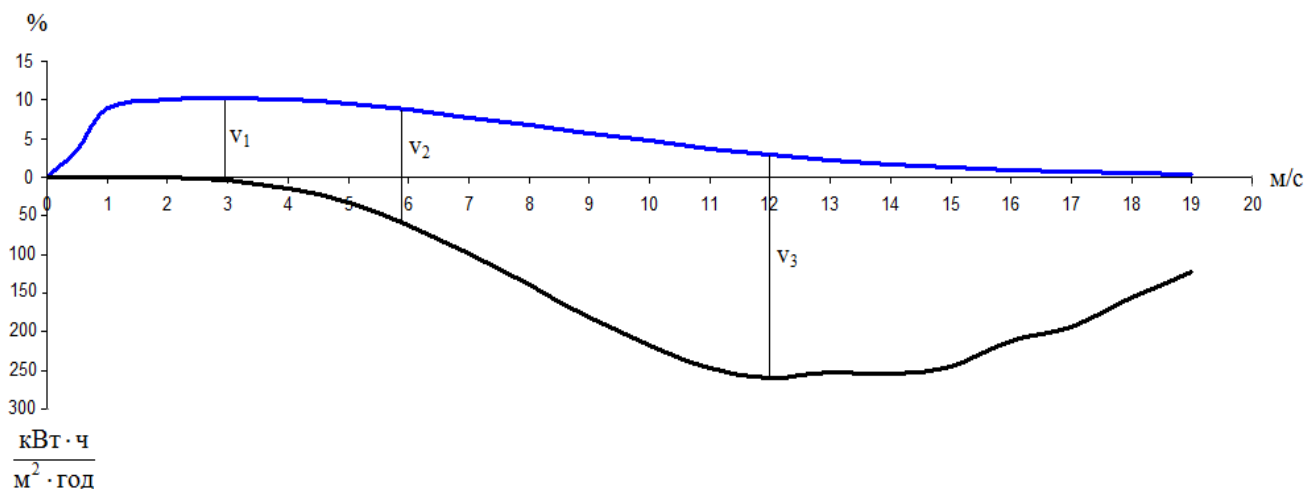


Рисунок 4.3.- Повторяемость скоростей ветра и распределение годовой удельной энергии $W_{уд}$ на высоте 30 м (пример): v_1 – наиболее часто наблюдаемая скорость, v_2 – средняя скорость ветра, v_3 – скорость, обеспечивающая наибольший вклад в годовую выработку энергии.

Ветроэнергетические ресурсы

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

Валовой (теоретический) потенциал ветровой энергии района – это средне многолетняя суммарная ветровая энергия движения воздушных масс над данной территорией в течение одного года, которая доступна для использования.

Полное использование энергии ветра на высоте h осуществляется 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 , m^2 , в год, представляет валовой потенциал территории W_v , кВт·ч/год, который при удельной энергии ветра $W_{уд}$, кВт·ч/($m^2 \cdot год$), равен:

$$W_{\epsilon} = W_{y\partial} \frac{S}{20}, \quad (4.14)$$

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

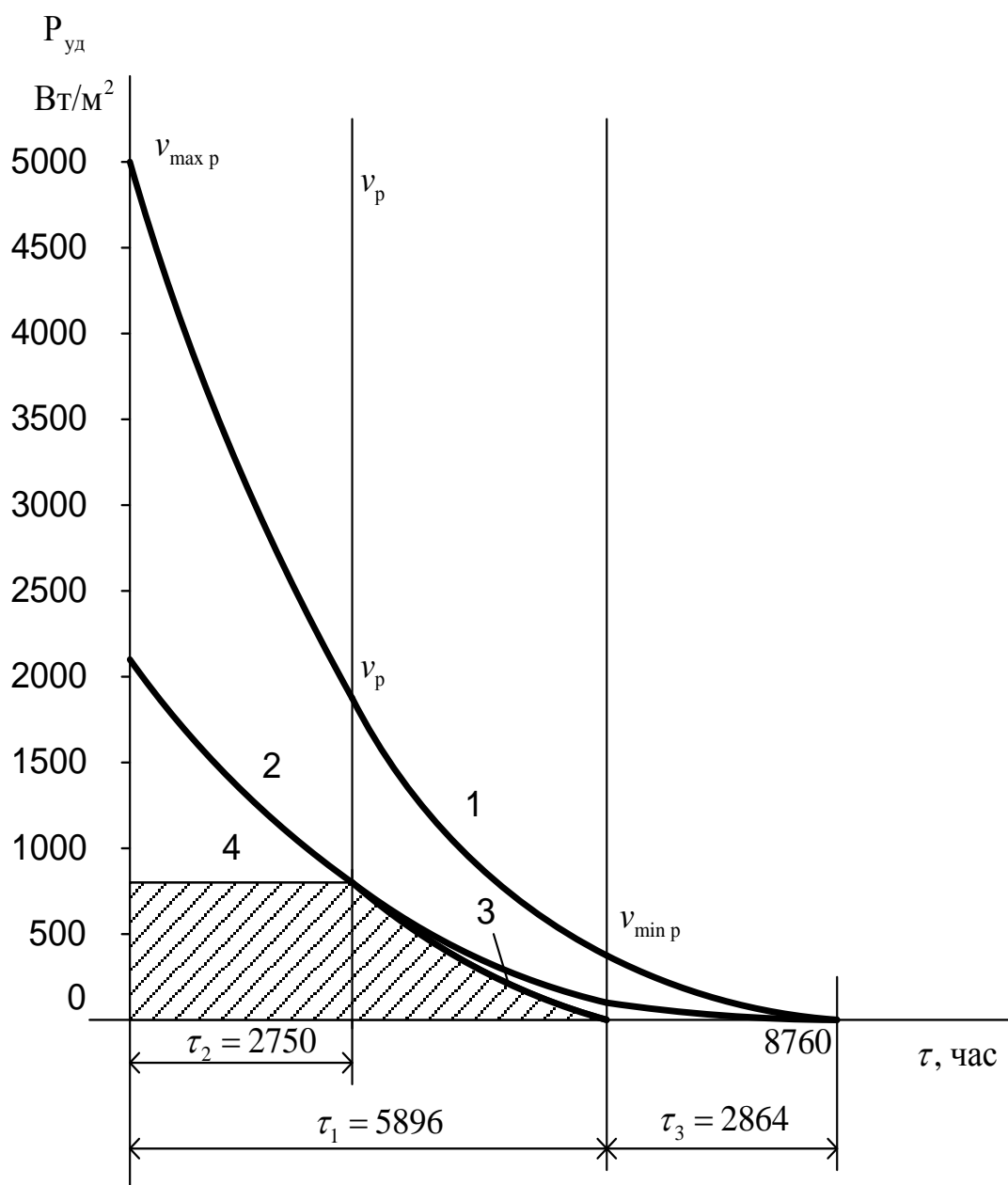


Рисунок 4.4. - Теоретическое распределение удельной мощности ветра (1), удельной мощности на валу ветроколеса (2) и фактическое распределение удельной мощности ВЭУ (3,4)

При скоростях ветра ниже минимальной рабочей скорости $V_{мин.р}$ мощности ветроколеса не хватает на преодоление сил трения в узлах ВЭУ. В диапазоне скоростей от $V_{мин.р}$ 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 $V_{\text{макс.р}}$, мощность ВЭУ поддерживается на постоянном уровне благодаря работе регулирующих устройств. Доля полезно используемой ветровой энергии при этом снижается. При скоростях выше $V_{\text{макс.р}}$ его энергия не используется.

Мощность единичной ВЭУ в кВт определяется выражением:

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

где D – диаметр ветроколеса, м;

V_p – расчётная скорость ветра, м/с;

η_p и η_g – КПД редуктора и генератора.

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

$$N_1 = N_0 \left[\frac{1000}{10D} \right]^2. \quad (4.16)$$

где D – диаметр ветроколеса, м.

С учётом (4.15) будем иметь:

$$N_1 = 4.81 \cdot V_p^3 \cdot \varepsilon \cdot \eta_p \cdot \eta_g, \quad (4.17)$$

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

Равномерность обеспечения потребителей энергией.

Потребители электрической энергии должны получать электроэнергию равномерно в соответствии с потребностью в ней. При наличии периодов ветровых затиший, т.е. при скорости ветра меньше $V_{\text{мин.р}}$ электроэнергия должна поступать от другого источника. Это может быть обеспечено двумя путями: аккумулярованием энергии, включением дополнительного источника энергии или коммутацией с электросетью. По своему устройству и принципу действия аккумуляторы могут быть: механические, гидравлические, химические, тепловые, пневматические и комбинированные. При необходимости аккумулярования электроэнергии, выработка её не ограничивается расчётной скоростью, а ограничивается максимальной скоростью, т.е. 20 – 25 м/с. Вырабатываемая электроэнергия сверх потребности идёт на аккумулярование.

В настоящей расчётно – графической работе предлагается использовать для небольших и средних мощностей до 10 МВт электролитические аккумуляторы с большой удельной электроёмкостью. Для больших мощностей, свыше 10 МВт необходимо применить тепловой или гидравлический тип аккумулярующего устройства. Дополнительным источником энергии на период ветровых затиший может служить дизель – генераторная установка (ДГУ). Ветро-дизельные системы (ВДС) получили в мире достаточно большое распространение и служат для электроснабжения в отдалённых районах. Цель объединения ВЭУ и ДГУ – экономия дизельного топлива. В условиях нестабильного характера ветра и нагрузки существуют различные проблемы, зависящие от количества объединяемых ВЭУ и ДГУ, их единичной и суммарной мощностей, типа нагрузки.

В расчётно – графической работе необходимо предусмотреть возможность аккумулярования энергии или дублирования от другого источника энергии.

5.БИОЭНЕРГИЯ

Возможный энергетический выход установки на биогаз определяется:

$$E = \eta \cdot H_6 \cdot V_6, \quad (5.1)$$

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:

$$V_6 = c \cdot m_0, \text{ м}^3/\text{сутки}, \quad (5.2)$$

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:

$$V_{\text{ж}} = m_0 / \rho_{\text{м}}, \quad (5.3)$$

где $\rho_{\text{м}}$ - плотность сухого материала, распределённого в массе $\rho_{\text{м}} = 50 \text{ кг/м}^3$).

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

$$V_{\text{Г}} = V_{\text{ж}} \cdot t_{\text{Г}}, \quad (5.4)$$

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

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

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

$$E = \eta \cdot H_6 \cdot V_6 \cdot f_M, \quad (5.5)$$

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

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

6. АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛА

Требуемое количество тепла Q , запасённого в аккумуляторе:

$$Q = \Pi \cdot n \cdot \tau \cdot Z, \text{ МДж}, \quad (6.1)$$

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:

$$V = Q / (\rho \cdot c \cdot \Delta T), \text{ м}^3, \quad (6.2)$$

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:

$$h = V/A, \text{ м}, \quad (6.3)$$

где V – объём, м^3 ;

A – площадь, м^2 .

Термическое сопротивление R между аккумулятором и окружающей средой:

$$R = (\tau \text{ сек.}) / (1,3 \cdot V \text{ м}^3 \cdot \rho \text{ с}), \text{ К/Вт}, \quad (6.4)$$

Удельное термическое сопротивление:

$$r = R \cdot A, \text{ м}^2 \text{ К/Вт}, \quad (6.5)$$

Толщина покрытия d на верхней крышке ёмкости:

$$d = r \cdot \lambda, \text{ м}, \quad (6.6)$$

где λ - коэффициент теплопроводности изоляционного материала, (пенополистирол, $\lambda = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$)

Плотность энергии q , запасённой в аккумуляторе:

$$q = Q/V, \text{ МДж}/\text{м}^3, \quad (6.7)$$

7. МЕХАНИЧЕСКОЕ АККУМУЛИРОВАНИЕ

Кинетическая энергия вращающегося тела E равна:

$$E = I \cdot \omega^2 / 2, \quad (7.1)$$

где I - момент инерции тела относительно его оси вращения;

ω - угловая скорость, рад/с

Для однородного диска момент инерции равен:

$$I = m \cdot a^2, \quad (7.2)$$

где m - масса диска;

a - радиус диска.

Плотность энергии, запасаемой однородным диском:

$$W_m = E/m = a^2 \cdot \omega^2 / 2, \quad (7.3)$$

Время между зарядками маховика:

$$t = E/P, \text{ с}, \quad (7.4)$$

где - E (Дж), P (Дж/с).

8. ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ.

Потери тепла трубопроводом определяются выражением:

$$P_T = - \lambda \cdot A \cdot \Delta T / x, \quad (8.1)$$

где λ - коэффициент теплопроводности, Вт/м·К;

A - площадь,

ΔT - разность температур;

x - толщина изоляции, м.

9. ОПРЕСНЕНИЕ ВОДЫ.

В пустынных районах необходимо снабжение питьевой водой, пресной водой для полива и т.д. Многие пустынные районы имеют подземные запасы

солёной воды и обычно, дешевле опреснять воду, чем её привозить. Так как в пустынях облучённость поверхности Земли высокая, можно использовать солнечную энергию для опреснения воды.

Самым простым устройством является солнечный дистиллятор – бассейн (рисунок 9.1). Он состоит из неглубокого бассейна с чёрными стенками и дном, заполненного водой и накрытого прозрачной паронепроницаемой крышкой. Крышка наклонена по направлению к потоку излучения. Поток солнечной энергии, прошедший через крышку, нагревает воду, часть которой испаряется. Водяной пар поднимается вверх и конденсируется на холодной крышке. Затем капли сконденсированной влаги скатываются в приёмный жёлоб.

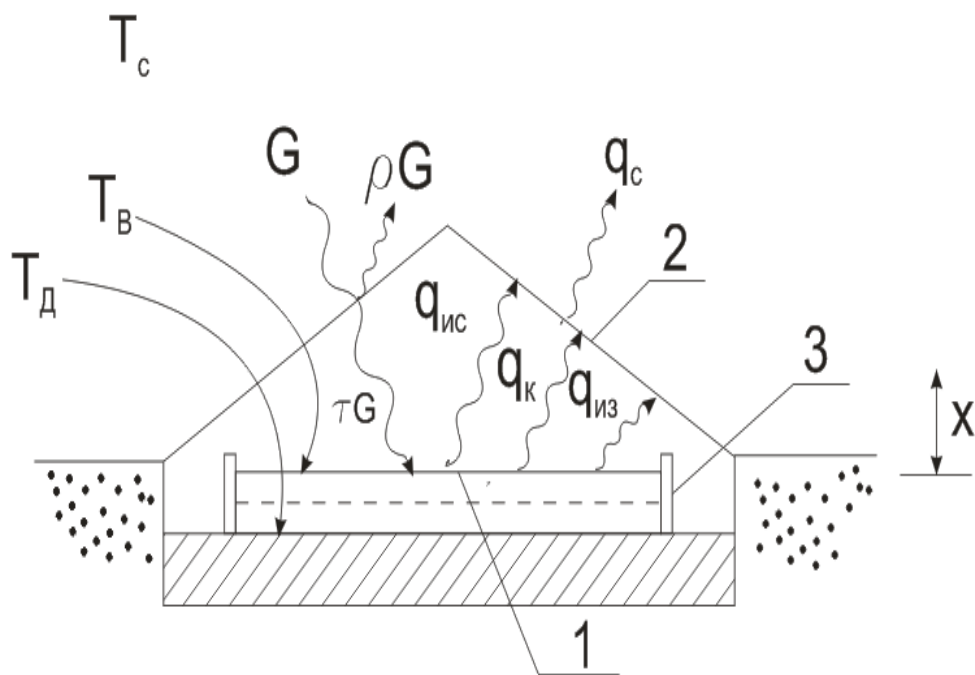


Рисунок 9.1. - Поток тепла в солнечном дистилляторе.

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

Чтобы определить производительность реального солнечного дистиллятора, необходимо вычислить, какая часть приходящей солнечной энергии

расходуется на испарение. Тепловой баланс для единицы поверхности воды определится:

$$m \cdot c \cdot dT_B / dt = \alpha_B \cdot \tau \cdot G - q_B - q_{и} - q_k - q_{ис} , \quad (9.1)$$

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

Удельный радиационный поток определится:

$$q_{и} = 4\sigma_B [(T_B + T_d)/2]^3 \cdot (T_B - T_d), \quad (9.2)$$

где T_d – температура крышки;

σ_B – постоянная Стефана – Больцмана.

Конвективный тепловой поток запишем в виде:

$$q_k = k \cdot (T_B - T_d), \quad (9.3)$$

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

Результирующий тепловой поток на единицу площади:

$$q_k = 2 \cdot \rho \cdot c \cdot (Q/A) \cdot \Delta T \quad (9.4)$$

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:

$$W = m'/A = 2 \cdot (Q/A) \Delta \chi = h_k \cdot \rho^{-1} \cdot c^{-1} \cdot \Delta \chi, \quad (9.5)$$

где χ – концентрация пара.

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

$$q_{т} = W \cdot r, \quad (9.6)$$

где r – удельная теплота парообразования воды.

Для дистиллятора, показанного на рисунке 9.1:

$$q_T = k \cdot r \cdot \rho^{-1} \cdot c^{-1} \cdot [\chi(T_B) - \chi(T_D)]. \quad (9.7)$$

Для размера x :

$$k = Nu \cdot \lambda / x \quad (9.8)$$

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

Nu – число Нуссельта

$$k = 0,062 (x / \lambda) Ra^{1/3}, \quad (9.9)$$

Ra - число Рэлея

$$Ra = g \cdot \beta \cdot x^3 (T_B - T_D) \lambda^{-1} \cdot \nu^{-1} \quad (9.10)$$

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.

10.ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

Сухие скальные породы.

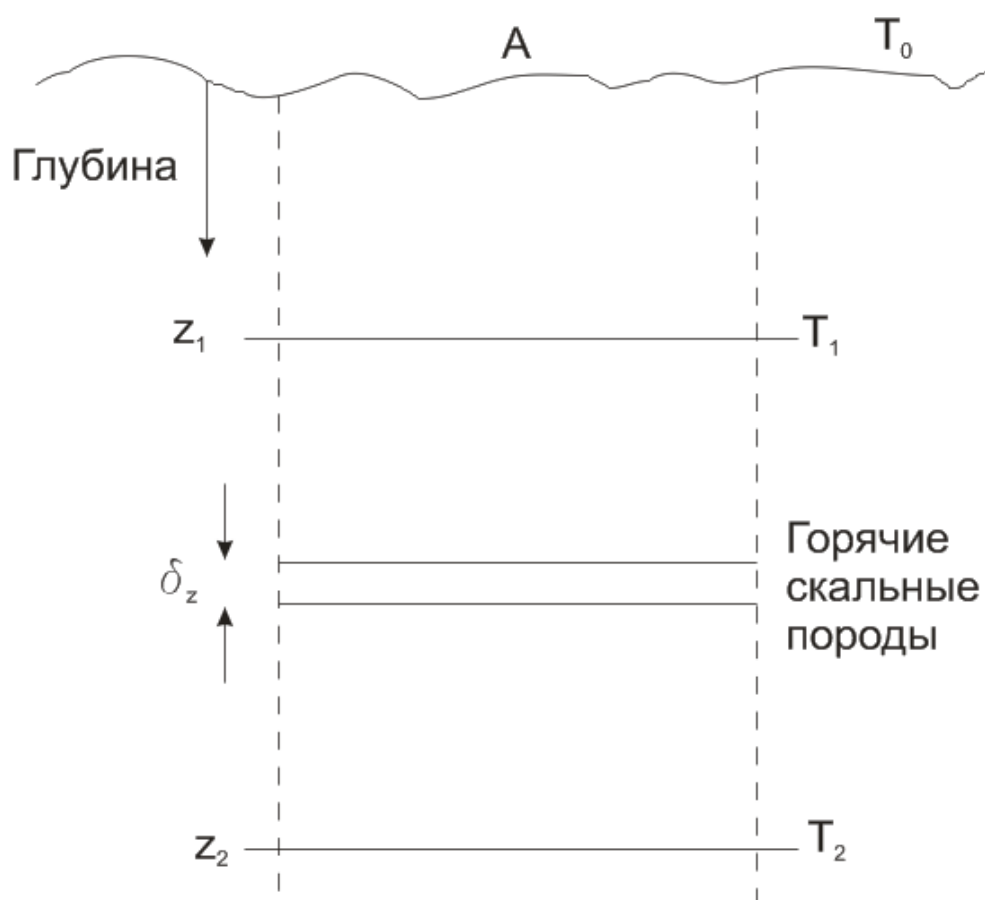


Рисунок 10.1 - Структура системы из сухих горных пород.

Полное полезное теплосодержание скального грунта до глубины равно:

$$E_o = \rho_r \cdot A \cdot c_r \cdot \mathcal{J} \cdot (z_2 - z_1)^2 / 2 \quad (10.1.)$$

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,

$$\theta = (T_2 - T_1)/2 = \mathcal{J} \cdot (z_2 - z_1)/2 \quad (10.2.)$$

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

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

$$C_r = \rho_r \cdot A \cdot c_r \cdot (z_2 - z_1). \quad (10.3)$$

Допустим, что тепло извлекается из пород равномерно, пропорционально температуре, с помощью потока воды, имеющего объёмный расход Q . плотность ρ_b , удельную теплоёмкость c_b . В этом процессе вода нагревается до температуры θ .

$$\theta = \theta_0 \cdot e^{-t/\tau}. \quad (10.4.)$$

$$E = E_0 \cdot e^{-t/\tau}. \quad (10.5.)$$

Постоянная времени τ определится:

$$\tau = \rho_b \cdot A \cdot c_r \cdot (z_2 - z_1) / (Q \cdot \rho_b \cdot c_b). \quad (10.6.)$$

Естественные водоносные пласты.

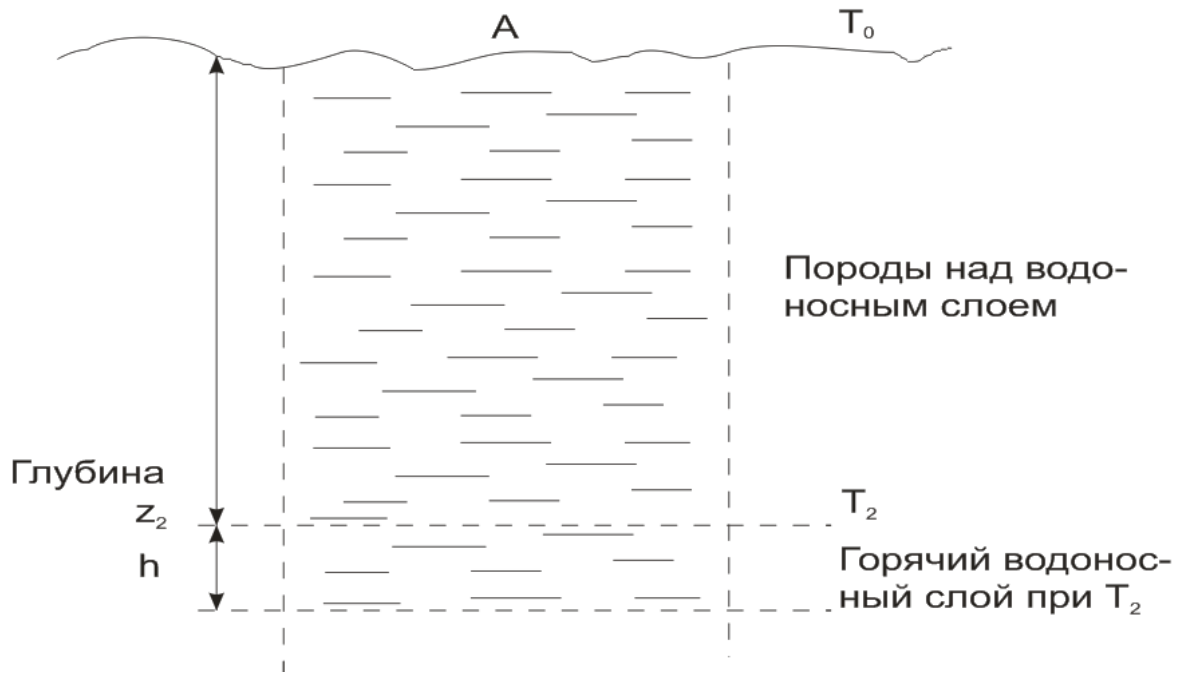


Рисунок 10.2 - Профиль горячего водоносного слоя.

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.

$$T_2 = T_0 + (dT/dz) \cdot z = T_0 + \text{Ж} \cdot z, \quad (10.7.)$$

$$E_0/A = C_r \cdot (T_2 - T_1), \quad (10.8.)$$

$$\text{где } C_{\Gamma} = [p \cdot \rho_{\text{В}} \cdot c_{\text{В}} + (1 - p) \cdot \rho_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma}] \cdot h. \quad (10.9.)$$

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

$$Q \cdot \rho_{\text{В}} \cdot c_{\text{В}} \cdot \theta = - C_{\Gamma} \cdot d\theta/dt. \quad (10.10)$$

$$E = E_0 \exp(-t/\tau_a), \quad (10.11.)$$

$$\tau_a = C_{\Gamma} / (Q \cdot \rho_{\text{В}} \cdot c_{\text{В}}) = [p \cdot \rho_{\text{В}} \cdot c_{\text{В}} + (1 - p) \cdot \rho_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma}] h / (Q \cdot \rho_{\text{В}} \cdot c_{\text{В}}). \quad (10.12.)$$

11. ЭНЕРГИЯ ПРИЛИВА

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

$$\mathcal{E}_{\text{пот.}} = 1,97 \cdot 10^6 \cdot R_{\text{ср}}^2 F, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (11.1)$$

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

F – площадь бассейна, км².

ЗАДАЧИ

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 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ градусов выше наружного.

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

Таблица 1.

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 $R, \text{ м}$. (Таб. 2). Оценить приливной потенциал бассейна $\mathcal{E}_{\text{пот}}$, используя формулу Л.Б. Бернштейна.

Таблица 2.

Величина	Варианты														
	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) (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, $c = 4200$, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$. 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 3

Величина	Варианты														
	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
$G, \text{Вт}/\text{м}^2$	750	650	600	600	650	750	700	600	650	700	750	700	650	700	750
$T_1, ^\circ\text{С}$	20	15	10	5	20	15	10	5	20	15	10	5	20	15	10
$T_2, ^\circ\text{С}$	40	45	35	40	35	45	35	40	45	35	40	50	50	40	40
$t, ^\circ\text{С}$	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 , $\text{Вт}/\text{м}^2$, КПД, η %. Какую площадь F должна иметь солнечная батарея с КПД η и мощностью P , Вт .

Таблица 4.

Величина	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$G, \text{Вт}/\text{м}^2$	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, 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 Вт/м².(табл. 5)

Таблица 5.

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

Задача 6.

Площадь солнечной батареи S , м², плотность тока i , А/см², плотность излучения G , Вт/м² (табл. 6). Определить ЭДС в солнечной батарее при КПД η .

Таблица 6

Величина	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
S , 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 , 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, 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 (табл.7). 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 7.

Величина	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
U, В	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12
I, А	3,0	2,5	3	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 , Вт/м·К, (табл.8), удельное термическое сопротивление поверхности приёмника $r = 0,13$ м²·К/Вт. Определить какой толщины требуется изоляция, чтобы обеспечить термическое сопротивление дна, равное сопротивлению поверхности.

Таблица 8.

Величина	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
λ , Вт/м·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 $T_{ср}$, (табл.9). Сопротивления потерям тепла $R = 10,2$ К/Вт,

коэффициент пропускания стеклянной крышки $\beta = 0,9$, коэффициент поглощения (доля поглощённой энергии), $\alpha_{п} = 0,85$.

Таблица 9.

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

Задача 10.

Содержание влаги в собранном рисе W_n , % (табл.10). При температуре воздуха $T_2 = 30$ °C 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 , °C, необходимо, чтобы просушить M , кг. риса.

Таблица 10.

Величина	Варианты														
	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, °C	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. (табл.11). Удельная теплота парообразования воды $r = 2,4$ МДж/кг. Определить производительность дистиллятора.

Таблица 11.

Величина	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
В, 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. (табл.12). 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, К/Вт; толщину покрытия верхней крышки ёмкости, см; плотность энергии, запасённой в аккумуляторе.

Таблица 12.

Величина	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Q, кВт	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
S, м ²	200	100	120	140	150	170	280	250	220	120	130	150	140	100	150
τ , суток	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 (табл.13). 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 13.

Величина	Варианты.														
	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 (табл.14). Угловая скорость ω , при которой достигается максимальный КПД $\eta = 0,9$. Определить диаметр D колеса турбины и угловую скорость ω .

Таблица 14.

Величина	Варианты.														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P, \text{кВт}$	10	20	30	40	50	690	70	80	90	100	110	120	130	140	150
$H, \text{м}$	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 (табл.15). Время пребывания очередной порции в биогенераторе t_r .

Таблица 15.

Величина	Варианты.														
	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	2,5	3	2	2,5	3	2	2,5	3	2	2,5	3	2	2,5	3
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. (табл.16). Определить: кинетическую энергию маховика при максимальной скорости. Среднее значение время между подключениями электродвигателя для зарядки, если средняя мощность, потребляемая автобусом, составляет P , кВт.

Таблица 16.

Величина	Варианты.														
	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 , (табл.17). Определить потери тепла вдоль трассы, если температура окружающего воздуха $T_{\text{ср}}$, а пар имеет температуру $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблица 17.

Величина	Варианты.														
	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 , Вт/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 , $\text{МДж}/\text{м}^2$ за 8 часов, $\tau = 1$; $\alpha = 1$; $r = \infty$.

Таблица 18

Наименование	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Облучённость G , $\text{МДж}/\text{м}^2$	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 19

Наименование	Варианты														
	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 (табл.20). Температурный градиент равен G $^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Минимальная допустимая температура, превышающая поверхностную, 140K , плотность гранита, $\rho_r = 2700 \text{ кг}/\text{м}^3$, теплоёмкость гранита $c_r = 820 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$. 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 20

Наименование	Варианты														
	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, °C/км	40	50	60	50	60	50	70	60	50	40	50	60	70	50	80
V, м ³ /(с·км ²)	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,3	1,2	1	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 $\rho_{гр} = 2700 \text{ кг/м}^3$; пористость a %; удельная теплоёмкость $c_{гр} = 840 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$. Температурный градиент (dT/dz) °C/км. Среднюю температуру поверхности t_0 принять равной 10°C . Удельная теплоёмкость воды $c_v = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$; плотность воды $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Расчёт произвести по отношению к плоскости поверхности F км². Минимально допустимую температуру пласта принять равной $t_1 = 40^\circ\text{C}$. Площадь $F = 1 \text{ км}^2$.

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

Таблица 21

Параметры	Варианты														
	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 °C/км	65	70	75	80	60	65	70	75	80	85	90	70	80	75	80
V, м ³ /(с·км ²)	1	1,2	1,1	1,3	1,4	1,5	1,4	1,3	1,2	1	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 $F_{\text{г}}$. Гелиостаты отражают солнечные лучи на приёмник, на поверхности которого зарегистрирована максимальная энергетическая освещённость $H_{\text{пр}}$. Коэффициент отражения гелиостата $K_{\text{г}} = 0,8$, коэффициент поглощения $\alpha_{\text{пог}} = 0,95$. Максимальная облучённость зеркала гелиостата $G_{\text{г}}$. Определить площадь поверхности приемника $F_{\text{пр}}$ и тепловые потери в нем, вызванные излучением и конвекцией, если рабочая температура теплоносителя составляет $t^{\circ}\text{C}$. Степень черноты приёмника $\epsilon_{\text{пр}} = 0,95$. Конвективные потери вдвое меньше потерь от излучения. Коэффициент излучения абсолютно чёрного тела $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}^4)$.

Таблица 22

Варианты	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
$F_{\text{г}}, \text{м}^2$	58	50	60	55	65	70	40	45	50	55	60	65	70	60	55
$G, \text{Вт}/\text{м}^2$	600	650	700	700	680	650	700	690	680	670	650	640	700	660	660
$t, ^{\circ}\text{C}$	660	700	680	670	660	650	690	680	670	660	650	680	670	680	660
$H_{\text{пр}}, \text{МВт}/\text{м}^2$	2,5	2	3	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 23

Наименование	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
V , тыс. т/сутки	500	400	350	300	250	200	150	100	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

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 (v), 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 .

$$T_r - T_a = (T_r - T_a)_{t=0} \exp[-t/(RC)], \quad T_a = \text{const}$$

Поглощающая стенка изготовлена из бетона.

$$C = mc$$

$$C = 2.4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 2.5 \cdot 0,1840 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)} = 2 \cdot 10^6 \text{ Дж/К},$$

$$RC = 0.007 \cdot 2 \cdot 10^6 = 14000 \text{ сек} = 4 \text{ час}.$$

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 $R_{\text{ср}} = 7,2 \text{ м}$.

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

$$\mathcal{E}_{\text{пот}} = 1.97 \cdot 10^6 \cdot 7,2^2 \cdot 1000 = 102 \cdot 10^6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

К задаче 3.

Размеры плоского пластинчатого нагревателя $H \cdot L$ (ширина и длина) (таб.3), сопротивление теплопотерям $r = 0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, 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 , Вт/м^2 , теплоёмкость воды, $c = 4200$, $\text{Дж/(кг} \cdot \text{}^\circ\text{C)}$. 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: $T_1 = 20^\circ\text{C}$; $T_2 = 40^\circ\text{C}$; $t = 4^\circ\text{C}$; $H = 0,8 \text{ м}$; $L = 2 \text{ м}$; $G = 750 \text{ Вт/м}^2$; $\alpha = 0,9$; $\tau = 0,9$.

Тепловой поток на единицу площади:

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

где ρ – плотность воды, 1000кг/м³;

c – теплоёмкость воды, 4200Дж/(кг·°С);

Q – объём прокачиваемой жидкости, м³/с;

$T_3 = (T_2 + t)$ – температура выходящей воды, °С;

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

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

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

$$Q = 0.85 \cdot 1,6 \cdot [0,9 \cdot 0,9 \cdot 750 - (42 - 20)/0,13] / [1000 \cdot 4200 \cdot (44 - 40)] =$$

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

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

Определим ($T_3 - T_2$) из выражения:

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

Подставим $G = 0$, среднюю ночную температуру $T_{cp} = (40 - 4/2) = 38^\circ\text{C}$ Q . Вода прокачивается со скоростью 1 цикл/ч, если насос будет продолжать работать. Получим:

$$Q = 0.85 \cdot 1,6 \cdot [0,9 \cdot 0,9 \cdot 0 - (38 - 20)/0,13] / [1000 \cdot 4200 \cdot (T_3 - T_2)] =$$

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

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

$$= -188 / [42 \cdot 10^5 \cdot (T_3 - T_2)]$$

Отсюда:

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

К задаче 4.

Плотность потока излучения, падающего на солнечную батарею, составляет G , Вт/м², КПД, η %. Какую площадь S должна иметь солнечная батарея с КПД η и мощностью P , Вт.

Решение

Плотность потока излучения – $G = 460$ Вт/м²; Мощностью $P=100$ Вт; КПД $\eta=20\%$; S – площадь, м².

$$P = \eta \cdot S \cdot G$$

$$S = P / \eta \cdot G$$

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

К задаче 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 Вт/м².(табл. 5)

Решение:

Батарея состоит из 900 фотоэлементов, плотность потока $G = 500$ Вт/м².
Мощность солнечной батареи:

$$P = n \cdot 1,5$$

$$P = 900 \cdot 1,5 = 1350 \text{ Вт.}$$

КПД солнечной батареи:

$$\eta = P / (S \cdot G)$$

$$S = 0,06 \text{ м}^2 \cdot 900 = 54 \text{ м}^2.$$

$$\eta = \frac{1350}{54 \cdot 500} = 0,05$$

$$\eta = 5\%.$$

К задаче 6.

Площадь солнечной батареи S , м^2 , плотность тока i , А/см^2 , плотность излучения G , Вт/м^2 (табл. 6). 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:

$$E = \frac{SG\eta}{I}$$

Где I -ток, определяется по формуле:

$$I = i \cdot S$$

Тогда ЭДС:

$$E = \frac{SG\eta}{iS}$$

$$E = \frac{300 \cdot 0,3}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^{-4} = 3 \text{ В}$$

К задаче 7.

Небольшая домашняя осветительная система питается от аккумуляторной батареи напряжением U , В (табл.7). Освещение включается каждый вечер на 4 часа, потребляемый ток I , А. Какой должна быть солнечная батарея, чтобы зарядить аккумуляторную батарею, если известно, что кремниевый элемент имеет ЭДС $E = 0,5 \text{ В}$ 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 9,6В (на 20% больше). ЭДС каждого элемента при пиковой нагрузке – около 0,5 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 $14,4/3 = 4,8 \text{ А}$. 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 $r = 0,13 \text{ м}^2\text{К/Вт}$. 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, м^2 ;

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

$$\Delta x = \lambda \cdot r$$

$$\Delta x = 0,034 \cdot 0,13 = 0,0044 \text{ м} = 4,4 \text{ мм}.$$

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 $T_{\text{ср}}$, (табл.9). Сопротивления потерям тепла $R = 10,2$ К/Вт, коэффициент пропускания стеклянной крышки $\beta = 0,9$, коэффициент поглощения (доля поглощённой энергии), $\alpha_{\text{п}} = 0,85$.

Решение:

Внутренний диаметр трубки $d = 1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}$, поток солнечной энергии $G = 750 \text{ Вт/м}^2$, температура среды $T_{\text{ср}} = 20^\circ\text{C}$

$$\beta \alpha_{\text{п}} \cdot G \cdot d = (T_{\text{тр}} - T_{\text{ср}}) / R.$$

$$R \cdot (\beta \alpha_{\text{п}} \cdot G \cdot d) + 20^\circ\text{C} = T_{\text{тр}}.$$

$$T_{\text{тр}} = 10,2 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \cdot 750 \cdot 0,01 + 20 = 78,5^\circ\text{C}.$$

К задаче 10.

Содержание влаги в собранном рисе $W_{\text{н}}$, %. При температуре воздуха $T_2 = 30^\circ\text{C}$ и относительной влажности $\varphi = 80\%$, 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: $W_{\text{н}} = 28\%$; $t = 45^\circ\text{C}$; $M = 1000 \text{ кг}$.

Из уравнения

$$m/m_0 = \omega + 1 = 1,28$$

Тогда сухая масса риса составляет: $m_0 = 780 \text{ кг}$.

Следовательно, масса жидкости, которую необходимо испарить

$$m_{\omega} = (\omega - \omega_{\text{р}}) \cdot m_0$$

$$m_{\omega} = (0,28 - 0,16) \cdot (780) = 94 \text{ кг}$$

Температура влажного воздуха на выходе из сушилки определяется следующим образом: при температуре воздуха 30°C и относительной влажности 80% , абсолютная влажность 1 м^3 воздуха находится из уравнения:

$$\rho_{\text{п}} = P_{\text{п}} \cdot \varphi / (R_{\text{п}} \cdot T),$$

где $\rho_{\text{п}}$ – абсолютная влажность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$. Абсолютной влажностью воздуха называют массу водяного пара в единице объёма влажного воздуха;

$P_{\text{п}}$ – давление насыщения водяного пара, $P_{\text{п}} = 4000\text{ Па}$ при температуре 30°C ;

$R_{\text{п}}$ – газовая постоянная водяного пара, равная $461,6\text{ Дж}/(\text{кг К})$;

T - температура ($t + 273$).

$$\rho_{\text{п}} = 4000 \cdot 0,8 / (461,6 \cdot (30 + 273)) = 0,0229\text{ кг}/\text{м}^3 = 22,9\text{ г}/\text{м}^3.$$

Прошедший через рис воздух будет более влажным. Из уравнения энергетического баланса зерносушилки

$$m_{\text{в}} r = \rho \cdot c \cdot V \cdot (T_1 - T_2),$$

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

ρ и c – плотность и теплоёмкость воздуха;

V - объём воздуха;

T_1 и T_2 - первоначальная и конечная температура воздуха .

Получаем:

$$V = m_{\text{в}} \cdot r / \rho \cdot c \cdot (T_1 - T_2)$$

Необходимое количество объема воздуха

$$V = 94 \cdot 2,4 \cdot 10^3 / 1,15 \cdot 1 \cdot (45 - 30) = 94 \cdot 2,4 \cdot 10^3 / (1,15 \cdot 1 \cdot 15) = 13 \cdot 10^3\text{ м}^3$$

К задаче 11.

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

Решение:

Дано: $V = 30\text{м}^2 L = 30\text{м}^2$. Производительность дистиллятора

$$П = G \cdot V \cdot L / t$$

$$П = 20 \cdot 30 \cdot 30 / 2.4 = 7500 \text{кг/день}.$$

К задаче 12.

Небольшой хорошо изолированный дом требует среднего внутреннего расхода тепла Q , кВт. (табл.12). 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, $\text{K}/\text{Вт}$; толщину покрытия верхней крышки ёмкости, см; плотность энергии, запасённой в аккумуляторе.

Решение:

Дано: $Q = 1\text{кВт}$; $S = 200\text{м}^2$; $\tau = 100$ суток. Требуемое количество тепла:

$$Q_{\text{тр}} = Q \cdot \tau \cdot (24\text{ч}) \cdot [3,6 \text{ МДж}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})]$$

$$Q_{\text{тр}} = (1\text{кВт}) \cdot (100 \text{ суток}) \cdot (24\text{ч}) \cdot [3,6 \text{ МДж}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})] = 8640 \text{ МДж}.$$

Количество воды:

$$m = Q_{\text{тр}} / (\rho \cdot c \cdot T_0)$$

$$m = (8640 \text{ МДж}) / [(1000 \text{ кг}/\text{м}^3) \cdot (4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})) \cdot (20 \text{ K})] = 103 \text{ м}^3.$$

Глубина ёмкости:

$$h = m / S$$

$$h = 103 \text{ м}^3 / 200 \text{ м}^2 = 0,5 \text{ м}.$$

Допустим, что потеря тепла происходит только через верхнюю часть ёмкости. Тогда термическое сопротивление:

$$R = \tau \cdot Q_{\text{тр}} / \{(1,3) \cdot m \cdot (1000 \text{ кг/м}^3) \cdot [4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}]\}$$
$$R = (100 \text{ суток}) \cdot (86400 \text{ с/сутки}) / \{(1,3) \cdot (103^3) \cdot (1000 \text{ кг/м}^3) \cdot [4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}]\}$$
$$= 0,0154 \text{ К/Вт.}$$

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

$$d = r \cdot \lambda$$
$$d = (3,1 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}) \cdot [0,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}] = 0,124 \text{ м.}$$

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:

$$m = \rho \cdot S \cdot V_0$$

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

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

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

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

Определим оптимальную угловую скорость:

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

$$\omega = (0.11 \cdot 31,6 \cdot 3860) / 400 = 34 \text{ рад./с}$$

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 биогазогенераторе 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 (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:

$$V_{ж} = m_0 \cdot \rho$$

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

Объём биогазогенератора

$$V_{\Gamma} = t_{\Gamma} \cdot V_{\text{ж}}$$

$$V_{\Gamma} = 14 \text{сут.} \cdot 0,72 \text{м}^3/\text{сут.} = 10,08 \text{м}^3$$

Суточный выход биогаза

$$V_b = C \cdot m_o$$

$$V_b = 0,24 \cdot 36 = 8,64 \text{м}^3/\text{сутки}$$

Тепловая мощность N, Вт:

$$N = \eta \cdot Q_{\text{нр}} \cdot V_b \cdot f$$

$$N = 0,68 \cdot 28 \cdot 8,64 \cdot 0,7 = 115 \text{МДж/сут.} = 31,97 \text{кВт} \cdot \text{ч/сут.}$$

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 = 1000кг, D = 180см, n = 3000об/мин, P = 20кВт. Кинетическая энергия маховика при максимальной скорости:

$$E = I \cdot \omega^2 / 2,$$

$$I = M \cdot a^2 / 2, \text{ где } a = R \text{ (радиус маховика),}$$

$$\omega = 2\pi \cdot n / 60$$

$$\omega = 6,28 \cdot 3000 / 60 = 314 \text{рад/с}$$

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

Среднее значение время между подключениями электродвигателя для зарядки:

$$t = E / P$$

$$t = 20000000 \text{ Дж} / 20000 \text{ Дж/с} = 1000 \text{ сек.} = 16,7 \text{ мин.}$$

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 $\lambda = 0,04 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Потери тепла вдоль трассы:

$$P_T = \lambda \cdot A \cdot \Delta T / X$$

где A - площадь теплоотдачи

$$A = \pi D \cdot L, \text{ м}^2$$

$$A = \pi \cdot 0,05 \cdot 100 = 15,7 \text{ м}^2$$

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

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_p 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 :

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

$$Q_{\text{ж}} = \tau \cdot \alpha \cdot A_p \cdot G - [(T_p - T_o)/r]$$

$$m \cdot c \cdot dT/dt = \tau \cdot \alpha \cdot A_p \cdot G - [(T_p - T_o)/r], \text{ т.к. } r = \infty.$$

$$m \cdot c \cdot dT/dt = \tau \cdot \alpha \cdot A_p \cdot G$$

Отсюда

$$A_p = m \cdot c \cdot dT/dt \tau \alpha G,$$

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

$$1 \text{ кВт} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж/сек}$$

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

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

К задаче 19

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

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 $G \text{ }^\circ\text{C/км}$. 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 $(dE/d\tau)_{\tau=0}$ и через 10 лет?

Решение:

Дано: $z=7\text{км}$; $G = 40^\circ\text{C/км}$; $v = 1 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$.

На глубине 7 км температура T_2 превышает температуру среды T_0 на 280К . Минимальная допустимая температура на 140К превышает T_0 на глубине $3,5\text{км}$. Исходя из выражения

$$E_0 = \rho_r A c_r G (z_2 - z_1)^2 / 2.$$

где A – площадь, 1 км^2 ;

$z_1 z_2$ – глубины, км,

получим

$$E_0/A = \rho_r \cdot c_r (z_2 - z_1) (T_2 - T_1) / 2$$

$$E_0/A = 2700 \cdot 820 \cdot (3,5 \text{ км}) \cdot (70 \text{ К}) = 5,42 \cdot 10^{17} \text{ Дж/км}^2,$$

$$(z_2 - z_1) = 3,5 \text{ км}, \quad (T_2 - T_1) / 2 = 70 \text{ К}$$

Постоянная времени τ определяется

$$\tau = \rho_r \cdot c_r \cdot A (z_2 - z_1) / (\rho_v c_v \cdot v)$$

$$\tau = 2700 \cdot 820 \cdot 3,5 \cdot 1 / (1 \cdot 1000 \cdot 4200) = 1,84 \cdot 10^9 \text{ с} = 58 \text{ лет}$$

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 $F \text{ км}^2$. 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 $V \text{ м}^3/(\text{с км}^2)$. Какова будет тепловая мощность, извлекаемая первоначально $(dE/dt)_{t=0}$ и через 10 лет?

Решение

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

$$C_a = [a \cdot \rho_B \cdot c_B + (1 - a) \rho_{ГР} \cdot c_{ГР}]z$$

$$C_a = (0,05 \cdot 1000 \cdot 4200 + 0,95 \cdot 2700 \cdot 840) \cdot 500 = 1,18 \cdot 10^9 \text{ Дж/К} \cdot \text{м}^2 = \\ = 1,18 \cdot 10^{15} \text{ Дж/Ккм}^2$$

$$E_0/A = C_a \cdot (t_2 - t_1)$$

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

Постоянная времени извлечения тепловой энергии

$$\tau_a = C_a / (V \cdot \rho_B \cdot c_B) = [a \cdot \rho_B \cdot c_B + (1 - a) \cdot \rho_{ГР} \cdot c_{ГР}]z / (V \cdot \rho_B \cdot c_B)$$

$$\tau_a = 1,18 \cdot 10^{15} / (0,1 \cdot 1000 \cdot 4200) = 2,8 \cdot 10^9 \text{ с} = 90 \text{ лет}.$$

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_r . Гелиостаты отражают солнечные лучи на приёмник, на поверхности которого зарегистрирована максимальная энергетическая освещённость $H_{пр}$. Коэффициент отражения гелиостата $K_r = 0,8$, коэффициент поглощения $\alpha_{пог} = 0,95$. Максимальная облучённость зеркала

гелиостата G_r . Определить площадь поверхности приемника $F_{пр}$ и тепловые потери в нем, вызванные излучением и конвекцией, если рабочая температура теплоносителя составляет $t^\circ\text{C}$. Степень черноты приёмника $\epsilon_{пр} = 0,95$. 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: $n=263$; $F_r=58 \text{ м}^2$; $H_{пр}=2,5 \text{ МВт}/\text{м}^2$; $K_r = 0,8$; $\alpha_{пр}=0,95$; $G_r=600 \text{ Вт}/\text{м}^2$; $t=660^\circ\text{C}$; $\epsilon_{пр} = 0,95$. Найти: $F_{пр}$; $q_{луч.}$; $q_{конв.}$. Энергия, полученная приемником от солнца через гелиостаты, может быть определена по уравнению:

$$Q = K_r \cdot \alpha_{пр} \cdot F_r \cdot G_r \cdot n$$

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

где G_r - облученность зеркала гелиостата, $\text{Вт}/\text{м}^2$;
 F_r - площадь поверхности гелиостата, м^2 ;
 n - количество гелиостатов;
 K_r - коэффициент отражения зеркала концентратора;
 $\alpha_{пр}$ - коэффициент поглощения приемника.

Площадь поверхности приемника может быть определена, если известна энергетическая освещенность на нем $H_{пр} \text{ Вт}/\text{м}^2$

$$F_{пр} = Q / H_{пр}$$

$$F_{пр} = 6955824 / 2500000 = 2,782 \text{ м}^2$$

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

$$g_{луч} = \epsilon_{пр} \cdot C_0 \cdot (T/100)^4$$

$$g_{луч} = 0,95 \cdot 5,67 \cdot (933/100)^4 = 4,08 \cdot 10^4 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

где T - абсолютная температура теплоносителя,

$$T = (t + 273)$$

$$T = (660+273) = 933\text{K}$$

$\epsilon_{\text{пр}}$ - 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

$$\frac{M}{260} = \frac{4890}{260} = 18,8 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2} \text{день.}$$

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

$$7,8 \cdot \eta = 7,8 \cdot 0,85 = 6,63 \text{кг/м}^2 \text{день.}$$

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 дистиллятора можно уменьшить с учётом долевого участия ветроэнергии практически на две трети.

ПРИМЕР РАСЧЁТА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КАДАСТРА МЕЗЕНСКОГО РАЙОНА (метеостанции №45 и №100)

Охарактеризуем ветровую обстановку Мезенского района.

Основными характеристиками ветроэнергетического кадастра являются:

- 1 - среднегодовая скорость ветра;
- 2 – годовой и суточный ход ветра;
- 3 – повторяемость скоростей, типы и параметры функций распределения скоростей;
- 4 – максимальная скорость ветра;
- 5 – распределение ветровых периодов и периодов энергетических затиший по длительности;
- 6 – удельная мощность и удельная энергия ветра;
- 7 – ветроэнергетические ресурсы района.

СРЕДНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА

Основной характеристикой ветра, определяющей его интенсивность и эффективность использования ветровой энергии, является его средняя скорость за определённый период времени (сутки, месяц, год).

Таблица 1. Среднемесячная и среднегодовая скорость ветра в Мезенском районе

Скорость ветра по месяцам, м/с												Среднегодовая скорость ветра, м/с
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
4,95	5,0	4,8	4,65	5,0	5,0	4,5	4,5	4,6	4,8	4,8	5,0	4,8

Среднегодовая скорость ветра определится (по формуле 4.7):

$$V_z = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} V_{m^i}$$

$$V_T = 1/12(4,95+5,0+4,8+4,65+5,0+5,0+4,5+4,5+4,6+4,8+4,8+5,0) = 4,8 \text{ м/с.}$$

Вертикальный профиль ветрового потока определяется по формуле (4.8):

$$V_{h2} = V_{h1} \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^m$$

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

V_{h2} – скорость ветра на высоте z_2 ;

m – показатель степени, 0,2.

В соответствии с таблицей 1 и рисунком 1 определим среднемесячные и среднегодовые скорости ветра на разных высотах.

Таблица 2. Средняя скорость ветра на разных высотах в г. Мезень, м/с

Высота над Землёй, м	месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
10	4.95	5.0	4.8	4.65	5.0	5.0	4.5	4.5	4.6	4.8	4.8	5.0	4.8
20	5.5	5.6	5.6	5.4	5.6	5.9	5.3	5.3	5.2	5.4	5.4	5.6	5.5
30	6.0	6.1	6.1	5.9	6.3	6.5	5.8	5.8	5.6	5.8	5.8	6.05	5.95
40	6.2	6.3	6.5	6.3	6.8	7.0	6.3	6.3	5.8	6.0	6.0	6.3	6.3
50	6.5	6.5	6.8	6.6	7.1	7.35	6.6	6.6	6.0	6.3	6.3	6.5	6.6
60	6.7	6.7	7.2	6.9	7.5	7.75	7.0	7.0	6.2	6.5	6.5	6.7	6.9
70	6.9	6.9	7.3	7.1	7.7	8.0	7.2	7.2	6.4	6.7	6.7	6.9	7.1
80	7,1	7,2	7,6	7,4	8,0	8,4	7,5	7,5	6,6	6,9	6,9	7,2	7,4
90	7,3	7,4	7,8	7,6	8,2	8,6	7,7	7,7	6,8	7,1	7,1	7,4	7,6
100	7,5	7,5	8,0	7,7	8,3	8,8	7,9	7,9	6,9	7,2	7,2	7,5	7,7

ПОВТОРЯЕМОСТЬ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА

Повторяемость скоростей ветра показывает, какую часть времени дули ветры с той или иной скоростью. В соответствии с Приложениями 2 и 3 в таблицах 3 и 4 приведена повторяемость скоростей ветра в процентах и днях в г. Мезень.

Таблица 3. Повторяемость скоростей ветра в г. Мезень на разных высотах, %

Среднегодовая скорость ветра, %		0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		$h_1 = 10\text{м}, V = 4.8 \text{ м/с}$	%	3,0	4,7	9,2	12,1	13	15,4	11,8	9,0	8,0	4,3	3,0	1,6	1,3	0,8	0,7	0,4
$h_2 = 20\text{м}, V = 5.5 \text{ м/с}$	%	1,5	3,4	6,3	9,7	12,5	14,9	14,6	13,0	9,5	5,3	3,5	2,5	1,3	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1
$h_2 = 30\text{м}, V = 5.95 \text{ м/с}$	%	1,0	2,6	4,8	8,0	11,0	13,8	15,0	13,9	11,4	8,0	4,9	3,0	1,5	0,6	0,2	0,1	0,1	0,1
$h_2 = 40\text{м}, V = 6.3 \text{ м/с}$	%	0,9	2,3	4,3	7,3	10,3	13,1	14,4	13,8	11,8	8,8	5,9	3,7	1,8	1,0	0,4	0,2	0,2	0,2
$h_2 = 50\text{м}, V = 6,6 \text{ м/с}$	%	0,8	2,1	3,9	6,6	9,5	12,2	13,7	13,7	12,1	9,5	6,6	4,3	2,0	1,2	0,6	0,2	0,2	0,2
$h_2 = 60\text{м}, V = 6.9 \text{ м/с}$	%	0,6	1,7	3,0	5,3	8,0	10,6	12,5	13,5	12,8	11,0	8,2	5,7	3,5	1,9	0,8	0,4	0,2	0,2
$h_2 = 70\text{м}, V = 7,1 \text{ м/с}$	%	0,5	1,2	2,7	5,0	7,4	10,0	11,8	13,1	12,9	11,3	8,7	6,4	4,3	2,6	1,3	0,6	0,3	0,2
$h_2 = 80\text{м}, V = 7.4 \text{ м/с}$	%	0,5	0,8	2,5	4,6	6,8	9,2	11,3	12,7	13,0	11,4	9,2	6,9	4,7	3,0	1,6	0,8	0,4	0,3
$h_2 = 90\text{м}, V = 7.6 \text{ м/с}$	%	0,4	0,7	2,3	4,4	6,4	8,6	10,9	12,3	13,1	11,5	9,6	7,4	5,1	3,3	1,9	0,9	0,5	0,4
$h_2 = 100\text{м}, V = 7,7\text{м/с}$	%	0,4	0,7	2,2	4,3	6,2	8,0	10,5	11,9	13,2	11,6	9,8	7,7	5,5	3,6	2,1	1,0	0,6	0,5

Таблица 4. Повторяемость скоростей ветра в днях в г. Мезень

Высота, м	Среднегодовая скорость ветра, м/с	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10	4,8	11	22	34	44	47	56	43	33	29	15	11	6	4	3	2	1	1	1
20	5,5	6	15	23	35	45	54	52	46	35	23	13	9	4	2	2	1	1	1
30	5,95	4	10	18	29	39	49	54	49	48	27	15	10	5	2	1	1	1	1
40	6,3	3	8	16	27	37	47	52	51	43	32	21	13	6	3	1	1	1	1
50	6,6	3	8	14	24	34	44	50	50	44	34	24	15	7	4	2	2	2	1
60	6,9	2	6	11	20	29	38	45	49	46	40	30	21	12	6	3	2	1	1
70	7,1	2	4	10	18	27	36	43	47	47	41	32	23	15	9	4	2	1	1
80	7,4	2	3	9	16	25	35	42	46	47	41	33	25	17	11	5	3	1	1
90	7,6	2	2	8	16	23	33	40	45	47	42	35	26	18	13	7	3	1	1
100	7,7	2	2	8	16	23	29	38	44	48	42	36	28	20	14	7	3	1	1

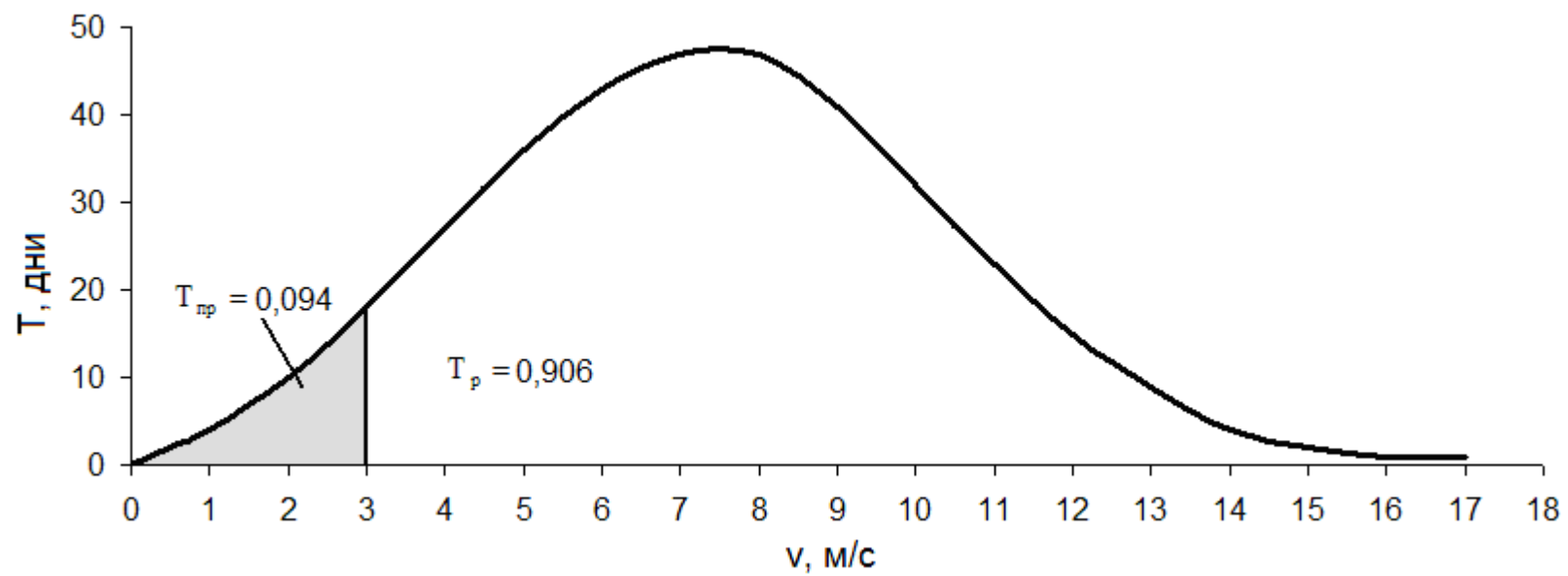


Рисунок 1- Кривая повторяемости средней скорости ветра вг. Мезень на высоте 70 м по таблице 4

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ПЕРИОДОВ И ПЕРИОДОВ ПРОСТОЯ ВЭУ ПО
ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Если начало работы ВЭУ принять при средней скорости ветра 3,0 м/с, то рабочий период составит в году:

1. На высоте 10м (таблица 4) рабочий период времени составит в году 71%:

$$365 \text{ дней} \cdot 0,71 = 259 \text{ дней}$$

$$259 \text{ дней} \cdot 24 \text{ часа} = 6216 \text{ часов в году.}$$

2. На высоте 50 м (таблица 4) рабочий период составит 86,6%:

$$365 \text{ дней} \cdot 0,866 = 316 \text{ дней}$$

$$316 \text{ дней} \cdot 24 \text{ часа} = 7584 \text{ часа в год.}$$

3. На высоте 70 м (рис. и таблица) рабочий период составит 88,9%:

$$365 \text{ дней} \cdot 0,889 = 324 \text{ дней}$$

$$324 \text{ дней} \cdot 24 \text{ часа} = 7776 \text{ часов в год.}$$

4. На высоте 100 м (рис. и таблица) рабочий период составит 92,2%:

$$365 \text{ дней} \cdot 0,922 = 337 \text{ дней}$$

$$337 \text{ дней} \cdot 24 \text{ часа} = 8088 \text{ часов в год.}$$

УДЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ И УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ВЕТРОВОГО ПОТОКА

Удельная энергия ветрового потока определится по формуле (4.11) и таблице 3. На высоте 50 м от Земли среднегодовая удельная энергия $W_{уд.п}$ составит:

$$W_{уд.п} = 1/2 \cdot 1,2 \cdot 8760 \cdot (0,5^3 \cdot 0,008 + 1^3 \cdot 0,021 + 2^3 \cdot 0,039 + 3^3 \cdot 0,066 + 4^3 \cdot 0,095 + 5^3 \cdot 0,122 + 6^3 \cdot 0,137 + 7^3 \cdot 0,137 + 8^3 \cdot 0,121 + 9^3 \cdot 0,095 + 10^3 \cdot 0,066 + 11^3 \cdot 0,043 + 12^3 \cdot 0,02 + 13^3 \cdot 0,012 + 14^3 \cdot 0,006 + 15^3 \cdot 0,002 + 16^3 \cdot 0,002 + 17^3 \cdot 0,002 + 18^3 \cdot 0,001 + 19^3 \cdot 0,001) = 5256 \cdot (0,001 + 0,021 + 0,312 + 0,556 + 3,38 + 15,25 + 29,6 + 47 + 62 + 69,3 + 66 + 57,2 + 34,6 + 26,4 + 16,5 + 6,75 + 8,2 + 9,8 + 5,8 + 6,9) = 5256 \cdot 465,57 = 2447035 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2 \cdot \text{год}.$$

Среднегодовая удельная мощность ветра ($\text{Вт} / \text{м}^2$) на высоте 50 м равна:

$$P_{ср} = W_{уд.п} / T$$

$$P_{ср} = 2447035 / 8760 = 279,4 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

На высоте 100 м от Земли среднегодовая удельная мощность ветра $W_{уд.п}$ составит:

$$W_{уд.п} = 1/2 \cdot 1,2 \cdot (0,5^3 \cdot 0,004 + 1^3 \cdot 0,007 + 2^3 \cdot 0,022 + 3^3 \cdot 0,043 + 4^3 \cdot 0,062 + 5^3 \cdot 0,08 + 6^3 \cdot 0,105 + 7^3 \cdot 0,119 + 8^3 \cdot 0,132 + 9^3 \cdot 0,116 + 10^3 \cdot 0,098 + 11^3 \cdot 0,077 + 12^3 \cdot 0,055 + 13^3 \cdot 0,036 + 14^3 \cdot 0,021 + 15^3 \cdot 0,01 + 16^3 \cdot 0,006 + 17^3 \cdot 0,005 + 18^3 \cdot 0,003 + 19^3 \cdot 0,001) = 5256 \cdot (0,001 + 0,007 + 0,176 + 1,16 + 4 + 10 + 22,7 + 40,8 + 67,6 + 84,6 + 98 + 102,5 + 95,1 + 79,1 + 57,6 + 33,75 + 24,6 + 24,6 + 17,5 + 17,5 + 6,9) = 5256 \cdot 788,2 = 4142779 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2 \cdot \text{год}.$$

Среднегодовая удельная мощность ветра ($\text{Вт} / \text{м}^2$) на высоте 100 м равна:

$$P_{ср} = W_{уд.п} / T$$

$$P_{ср} = 4142779 / 8760 = 473 \text{ Вт} / \text{м}^2.$$

Таким образом, наибольший вклад в преобразование энергии ветра в механическую мощность вносят ветры со скоростями в диапазоне 8 – 15 м/с.

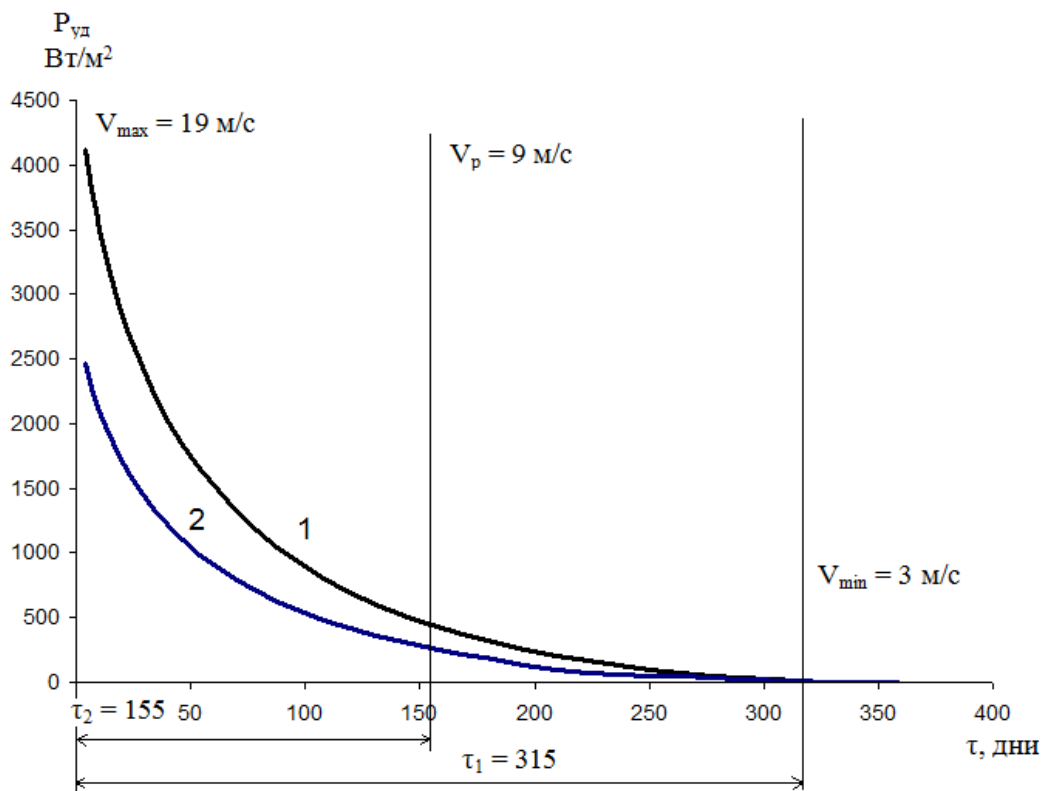


Рисунок 6 - Распределение удельной мощности ветра (1), удельной мощности на валу ветроколеса (2) и фактическое распределение удельной мощности ВЭУ (3) по таблице 6.

V_{\min} , V_p , V_{\max} . – минимальная, рабочая и максимальная скорости ветра.

$$P_{уд.т} = 0,6V_0^3$$

Таблица 6.

V_0 м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Руд,т	0,6	4,8	16,2	38,4	75,0	130	206	307	437	600	800	1037	1318	1646	2025	2460	2950	3500	4115
0,45Руд,т	0,3	2,0	10,0	23	45	59	93	184	262	360	480	622	790	987	1215	1476	1770	2100	2470
Дни	20	24	25	26	27	27	28	27	24	23	20	18	16	14	12	10	8	6	4

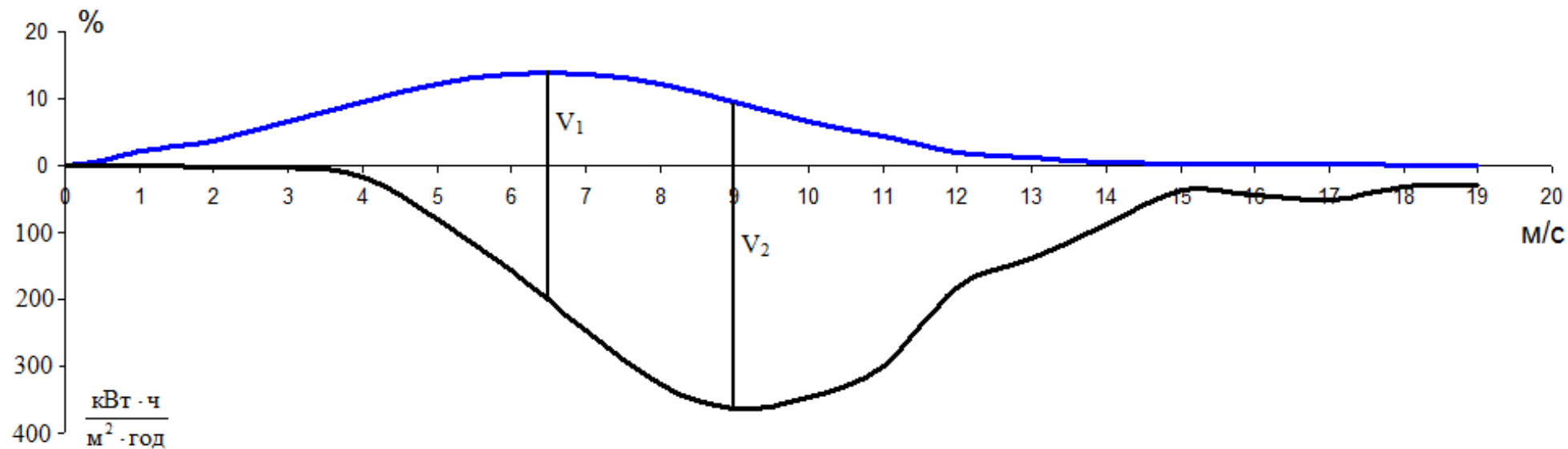


Рисунок 7 - Повторяемость скоростей ветра и распределение годовой удельной энергии в г. Мезень на высоте 50 м (таблица 7).

V_1 – средняя скорость ветра, м/с; V_2 – скорость, обеспечивающая наибольший вклад в годовую выработку энергии.

Таблица 7.

V_0 , м/с	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Wуд, кВт-ч/м ² год	0	0,11	1,6	3	17,8	80,1	156	247	326	364	347	301	182	139	87	36	43	51,5	30,5	30
%	0,8	2,1	3,6	6,6	9,5	12,2	13,7	13,7	12,1	9,5	6,6	4,3	2,0	1,2	0,6	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1

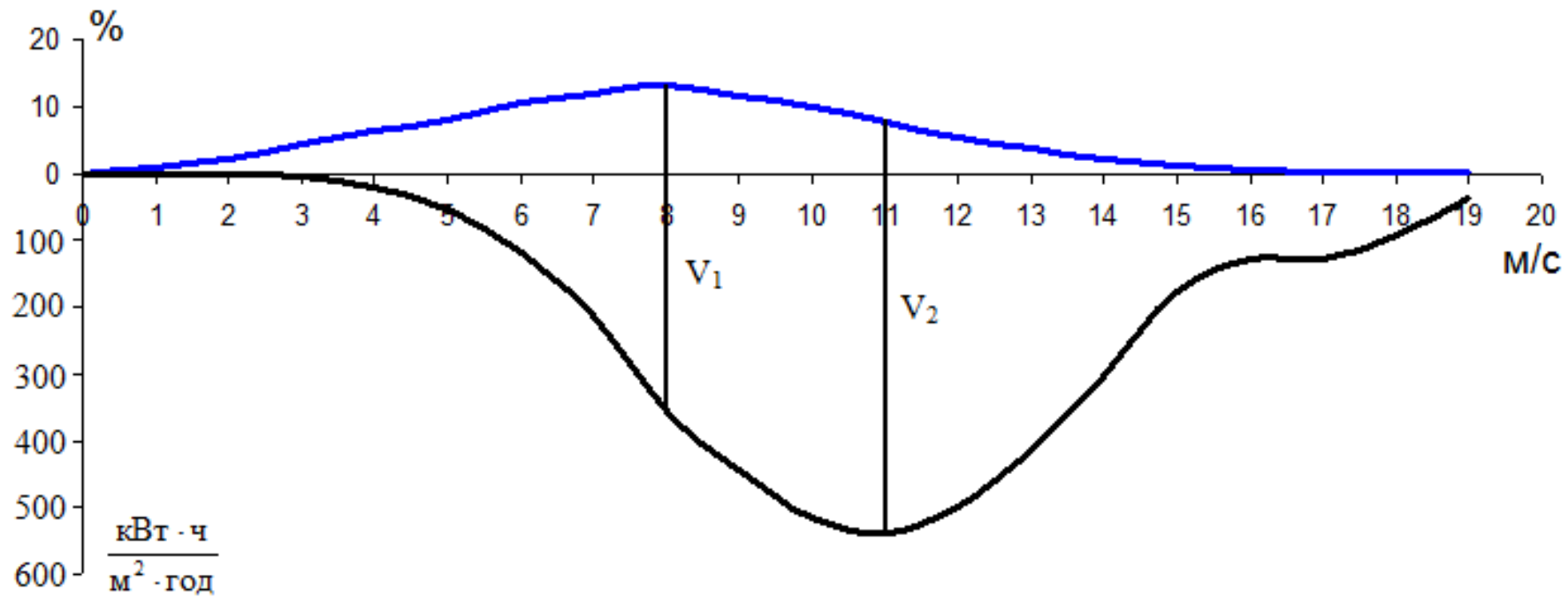


Рисунок 8 - Повторяемость скоростей ветра и распределение годовой удельной энергии $W_{уд}$ в г. Мезень на высоте 100 м (таблица 8).

V_1 – средняя скорость ветра, м/с; V_2 – скорость, обеспечивающая наибольший вклад в годовую выработку энергии.

Таблица 8.

$V_0, \text{м/с}$	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$W_{уд}, \text{кВт-ч/м}^2\text{год}$	0	0,3	0,9	6	21	52,6	119	214	355	445	515	539	500	416	303	177	129	129	92	36
%	0,4	0,7	2,2	4,3	6,2	8	10,5	11,9	13,2	11,6	9,8	7,7	5,5	3,6	2,1	1,0	0,6	0,3	0,2	0,1

Для построения рисунков 7 и 8 использована таблица 4 (верхняя часть рисунка) и формула 4 (нижняя часть рисунка)

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Составление ветрового кадастра для определённого района:
 - 1.1. Определить среднегодовую скорость ветра (Приложение 1, формула 4.7);
 - 1.2. Определить среднемесячные среднегодовую скорости на высотах от 20 до 100 метров (формула 4.8);
 - 1.3. Рассчитать повторяемость скорости ветра на высотах от 20 до 100 метров (Приложения 2 или 3);
 - 1.4. Определить распределение ветровых периодов и периодов энергетических затиший по длительности (формула 4.9, приложение 2 или 3);
 - 1.5. Определить удельную мощность и удельную энергию ветра и ВЭС (формулы 4.10 – 4.13);
 - 1.6. Рассчитать ветроэнергетические ресурсы (формулы 4.14 – 4.17).
2. Подбор необходимого количества ветроустановок для обеспечения потребности в электроэнергии. (Приложение 4)

Приложение № 1. Среднемесячные скорости ветра, м/с

№ Вар.	район	месяц												Необходимая мощность,кВт	Электрич. мощность, кВт	Тепловая мощность, кВт
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	о. Рудольфа	8,8	8,3	8,5	7,9	7,0	5,5	4,8	5,4	6,6	8,0	7,4	8,1	200,0	100,0	100,0
2	Новая Земля	9,1	8,0	7,9	8,1	7,2	7,4	7,6	7,7	7,9	8,5	9,0	9,6	1000,0	500,0	500,0
3	Амдерма	9,5	8,8	8,2	8,1	7,5	6,3	5,6	6,0	6,9	8,4	9,6	9,5	3000,0	2000,0	1000,0
4	о. Колгуев	8,9	8,7	8,4	7,0	7,3	7,2	6,6	6,7	7,8	8,4	9,2	9,0	200,0	50,0	150,0
5	Усть – Кара	7,5	7,1	6,9	6,6	6,6	6,2	6,2	6,0	6,2	7,3	7,7	7,8	800,0	200,0	600,0
6	Индига	7,6	7,4	6,8	6,4	6,2	5,9	5,5	5,6	6,6	7,4	7,9	7,9	850,0	250,0	600,0
7	Соловки	5,2	4,6	4,4	4,2	4,2	4,2	4,0	3,9	4,6	5,9	6,3	5,6	1000,0	200,0	800,0
8	о. Мудьюг	6,1	5,3	5,2	4,6	5,1	5,2	5,0	4,9	5,6	6,3	6,2	6,0	150,0	50,0	100,0
9	Архангельск	5,2	4,8	4,9	4,6	5,0	4,6	4,3	4,2	4,8	5,5	5,5	5,2	10000,0	10000,0	-
10	Карпогоры	4,8	4,2	4,7	4,2	4,6	4,3	4,1	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5	800,0	500,0	300,0
11	Каргополь	4,7	4,6	4,6	4,2	4,4	4,0	3,5	3,3	3,9	4,6	5,0	4,9	1000,0	600,0	400,0
12	Котлас	4,6	4,5	4,7	4,2	4,6	3,9	3,4	3,1	4,0	4,3	4,8	4,6	6000,0	6000,0	-
13	Шангалы	4,0	4,1	4,5	4,0	4,3	3,8	3,3	3,1	3,7	4,3	4,6	4,1	3000,0	3000,0	-

14	Вельск	4,0	3,5	4,0	3,5	3,7	3,3	3,0	2,8	3,2	3,6	3,7	3,7	3000,0	3000,0	-
15	Варандей	6,9	6,2	6,2	5,7	5,4	5,4	5,2	5,3	5,7	6,7	6,6	6,8	4000,0	3000,0	1000,0

Приложение № 2. Повторяемость скоростей ветра в % на высоте 10 м (по Поморцеву М.М.)

Скорость ветра, м/с	Среднегодовая скорость ветра, м/с											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	25,4	10,0	5,7	3,5	2,0	1,0	0,6	0,5	0,2	0	0	0
1	41,0	23,0	11,8	7,2	4,3	2,6	1,7	1,0	0,7	0,2	0	0
2	25,1	29,6	19,4	12,2	7,8	4,8	3,0	2,1	1,6	0,8	0	0
3	7,5	23,0	22,7	16,5	11,4	8,0	5,3	3,8	2,6	2,0	0,9	0,4
4	1,0	10,0	19,5	18,5	15,0	11,0	8,0	5,6	4,0	3,2	2,1	1,3
5		3,8	12,0	16,5	16,5	13,8	10,6	7,8	5,7	4,5	3,1	2,2
6		0,6	6,0	12,2	15,0	15,0	12,5	10,0	8,0	5,9	3,7	2,5
7			2,2	7,2	12,0	13,9	13,5	11,8	9,6	7,8	6,0	4,8
8			0,7	3,6	8,0	11,4	12,8	12,6	10,9	9,0	7,0	5,7
9				1,7	4,3	8,0	11,0	11,8	11,4	10,0	9,5	9,0
10				0,6	2,0	5,0	8,2	10,1	10,9	10,2	10,2	10,3
11				0,3	0,8	3,0	5,7	8,0	9,7	10,0	11,2	10,7
12					0,6	1,5	3,5	5,9	8,0	9,0	10,0	11,3

13					0,3	0,6	1,9	4,0	5,9	7,8	9,5	10,7
14						0,3	0,8	2,5	4,2	5,9	8,2	9,3
15							0,4	1,3	2,8	4,8	6,5	8,5
16							0,2	0,7	1,8	3,3	4,3	5,0
17							0,2	0,3	1,0	2,2	3,0	3,9
18								0,2	0,6	1,5	2,2	3,0
19									0,2	0,9	1,4	1,9
20										0,7	1,2	1,7

Приложение № 3. Повторяемость скоростей ветра в днях на высоте 10 м (по Поморцеву М.М.)

Средняя скорость ветра, м/с	Среднегодовые скорости ветра, м/с											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	93	36	20	12	7	3	2	1	1	-	0	0
1	150	84	43	26	15	9	6	3	2	-	0	0
2	92	108	71	44	28	17	11	7	5	3	0	0
3	27	84	83	60	41	29	19	13	9	7	3	1
4	3	36	71	67	54	40	29	20	14	11	8	5
5		14	44	60	61	50	38	29	21	16	11	8
6		3	22	44	54	55	45	36	29	21	13	9
7			8	26	44	51	49	43	35	28	22	17
8			3	14	30	42	47	46	40	33	26	21
9				7	16	30	40	43	42	37	35	32
10				3	7	19	30	37	40	37	37	37
11				2	4	12	21	30	36	37	41	39
12					3	5	14	22	29	34	36	40

Приложение № 4. Характеристики ветроустановок отечественного и зарубежного производства

№ п/п	Наименование	Зарубежного производства						Отечественного производства				
		Е - 33	Е - 48	V - 60	Е - 70	N - 90	V - 90	АВЭ – 250СМ	ЗВТ	Ю - 500	Р - 1000	ВТО - 1250
1	Номинальная мощность, кВт	330.0	800.0	850.0	2000.0	2500.0	3000.0	250,0	100,0	500,0	1000,0	1250,0
2	Расчётная рабочая скорость ветра, м/с	13.0	13.0	13.0	13.5	14.0	15.0	13,0	13,0	13,6	13,6	13,6
3	Минимальная рабочая скорость ветра, м/с	3.0	3.0	3.5	2.5	3.0	3.5	5,0	4,0	4,0	4,0	6,0
4	Диаметр ветроколеса, м	33.4	48.0	60.0	71.0	90.0	90.0	25,0	1,75	34,0	48,0	27,0
5	Высота оси ветроколеса, м	44.0	60.0	60.0	98.0	100.0	100.0	30,0	22,0	31,5	38,0	40,0
6	Положение оси	гориз.	гориз.	гориз.	гориз.	гориз.	гориз.	гориз.	верт.	гориз.	гориз.	гориз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А да Роза. Возобновляемые источники энергии. Физико – технические основы: 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: учеб. пособие /А.А. Горяев, Г.А. Шепель. – Архангельск: САФУ, 2010. – 120с.

3. Хахалева Л.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.: Пособие для проведения практических занятий. Ульяновск, 2008. – 32с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	3
2. Энергия Солнца	4
3. Гидроэнергетика	12
4. Ветроэнергетика	13
5. Расчёт ветроэнергетического кадастра	15
6. Средние скорости ветра	16
7. Повторяемость скоростей ветра	18
8. Биоэнергия	27
9. Аккумуляция тепла	28
10. Механическое аккумуляция	30
11. Передача энергии	30
12. Опреснение воды	31
13. Геотермальная энергия	34
14. Энергия прилива	37
15. Задачи	38
16. Примеры решения задач	58
17. Пример расчёта ветроэнергетического кадастра	78
18. Порядок выполнения работы по расчёту ветроэнергетического кадастра	91
19. Приложения	92
20. Список литературы	99